

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

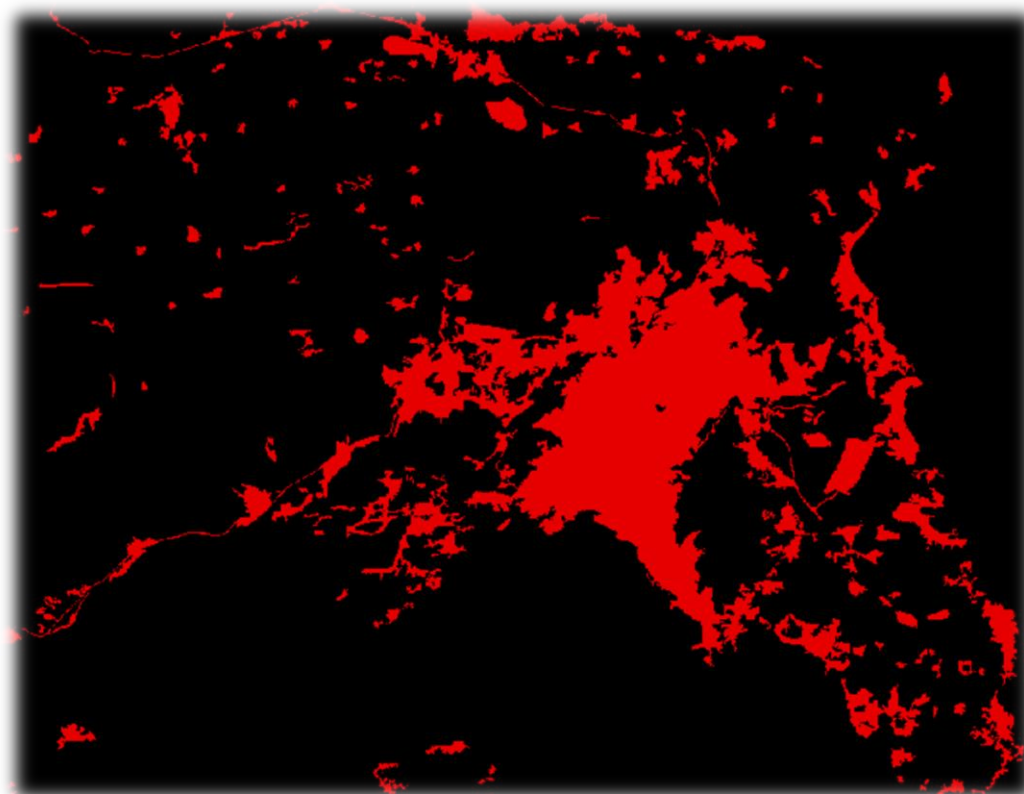
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Γεωγραφίας και Αστικού Σχεδιασμού

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΩΡΟΥ



Μοντελοποίηση της Αστικής Εξέλιξης (Urban Growth)  
με τη Χρήση Μεθόδων Μηχανικής Μάθησης και GIS.  
Η Περίπτωση της Αττικής



Διπλωματική Εργασία

Άννα Παπαδήμα-Κουτσοθανάση

Επιβλέπων: Γεώργιος Ν. Φώτης, Καθηγητής ΕΜΠ

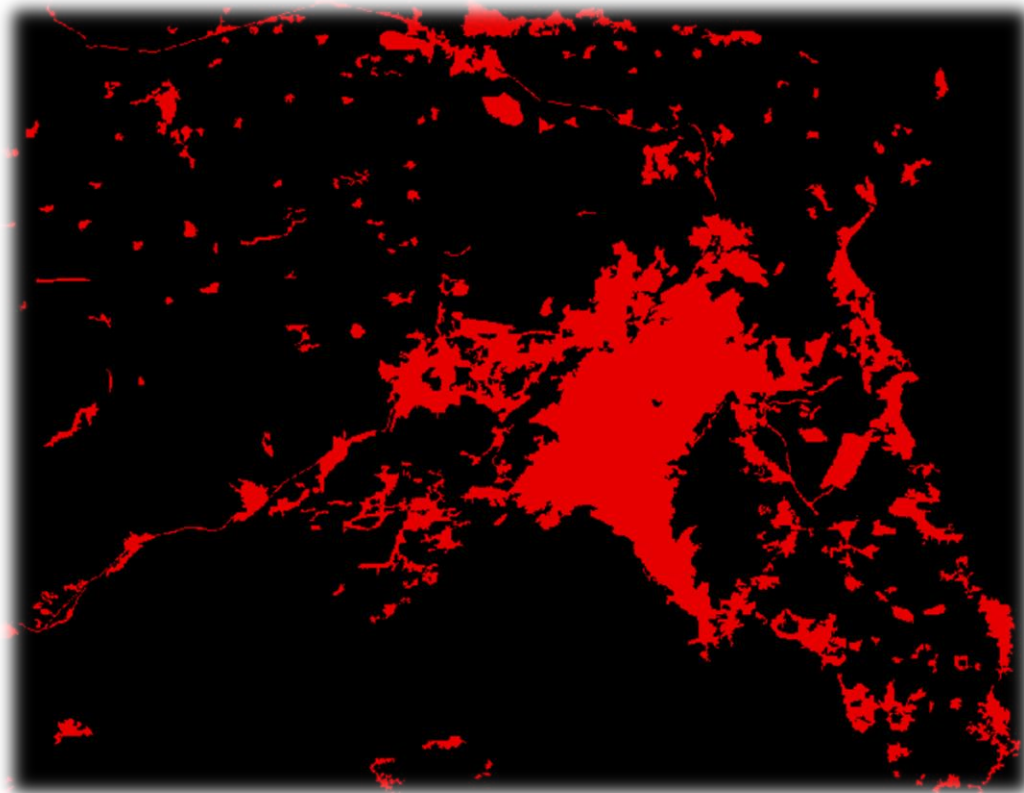
Αθήνα, Μάρτιος, 2021



**NATIONAL AND TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**School of Rural and Survey Engineering**  
**Department of Geography and Regional Planning**  
**LABORATORY OF GEOGRAPHY AND SPACE ANALYSIS**



Modeling Urban Growth using Machine Learning and  
GIS methods. The case of Attica



Diploma Thesis

Anna Papadima-Koutsothanasi

Supervisor: Yorgos N. Photis, NTUA Professor

Athens, March, 2021





Αστικά τοπία της Αθήνας, Πηγή: Προσωπικό αρχείο



Copyright © Άννα Παπαδήμα-Κουτσοθανάση, 2021  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Anna Papadima-Koutsothanasi, 2021  
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Rural and Surveying Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization (L. 5343/1932, art. 202).

## Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή αποτελεί το τελευταίο κομμάτι των σπουδών μου, στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Αισθάνομαι χαρά αλλά και μια γλυκιά νοσταλγία για όλα όσα έζησα και έμαθα αυτά τα πέντε χρόνια. Ευχαριστώ πολύ τους καθηγητές και τους συμφοιτητές-φίλους μου για όλα έμαθα, για τις χαρές μας, για τις συνεργασίες μας και για όλα όσα διαδραματίστηκαν κατά την διάρκεια των σπουδών μας.

Θα ήθελα συγκεκριμένα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Ν. Φώτη, διευθυντή του τομέα Γεωγραφίας και Αστικού Σχεδιασμού που μου ανέθεσε την συγκεκριμένη εργασία, καθώς αποτελεί ένα σύγχρονο θέμα με πολλές προεκτάσεις και και εφαρμογές σε μελλοντικές έρευνες. Τον ευχαριστώ επίσης για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθώς και για τις καίριες παρατηρήσεις και επισημάνσεις του κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ακόμα, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Παύλο Τσάγκη υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ, ο οποίος με βοήθησε να αντιμετωπίσω τεχνικά ζητήματα που ανέκυψαν στην πορεία εκπόνησης της διπλωματικής και αφορούσαν δυσκολίες του μοντέλου που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συμπαράσταση που μου παρείχε και τους φίλους μου Παύλο Σταθόπουλο, Θέμη Μαγκούφη και Σάββα Βασιλειάδη που με στήριξαν στη διάρκεια της εργασίας.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να μελετήσει την αστική ανάπτυξη της περιφέρειας Αττικής με την χρήση νευρωνικών δικτύων. Η πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και απαραίτητο για την σωστή διαχείριση του δομημένου περιβάλλοντος.

Αρχικά γίνεται μία εκτενής περιγραφή για το συγκεκριμένο φαινόμενο και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του. Έπειτα παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη του. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.) και νευρωνικά δίκτυα για πραγματοποιηθεί και να απεικονιστεί η πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα νευρωνικά δίκτυα. Ένα εργαλείο που είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στις κοινότητες των προγραμματιστών αλλά και γενικότερα των ερευνητών καθώς μιμείται τους ανθρώπινους νευρώνες και παράγει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αφού παρουσιαστεί η περιοχή μελέτης και αναλυθεί ο τρόπος προσέγγισης του φαινομένου γίνεται επέξηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα που εξάγονται όσον αφορά την αστική εξάπλωση στην Αττική, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την εγκυρότητα και αποτελεσματικότητα του μοντέλου και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα.

**Λέξεις Κλειδιά :** αστική διάχυση, αστικοποίηση, πρόβλεψη αστικής ανάπτυξης, GIS, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ), Multilayer Perceptron, χωρική ανάλυση, μοντέλα πρόβλεψης



## ABSTRACT

The aim of this work is to study the urban development of the Attica region with the use of neural networks. Predicting urban development is a useful tool with great research interest and necessary for the proper management of the built environment.

First, an extensive description of this phenomenon is made and its characteristics are analyzed. Then the methods and techniques that have been used in recent years for its modeling and prediction are presented. In the present work, Geographic Information Systems (G.I.S.) and neural networks were used to realize and visualize the prediction of urban development. Next are the neural networks. A tool that is especially popular in the communities of developers and researchers in general as it mimics human neurons and produces very satisfactory results. After the study area is presented and the way of approaching the phenomenon is analyzed, the results are explained.

Finally, based on the results obtained in terms of urban sprawl in Attica, conclusions are drawn about the validity and effectiveness of the model and suggestions are made for future research on this issue.

**Key words:** urban sprawl, urbanization, urban growth prediction, GIS, Artificial Neural Networks (ANN), Multilayer Perceptron, spatial analysis, Urban Forecast Methods



## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	5
1.1 Στόχος .....	7
1.2 Δομή .....	7
2. Αστική Διάχυση .....	9
2.1 Ορισμός .....	9
2.2 Αιτίες .....	11
2.3 Μορφές Αστικής Εξάπλωσης.....	12
2.4 Επιπτώσεις.....	15
2.5 Διαχείριση του φαινομένου .....	19
3. Αστικά Μοντέλα .....	26
3.1 Ρόλος Αστικών Μοντέλων .....	26
3.2 Πολυπλοκότητα Συστημάτων.....	27
3.3 Θεωρητικές Προσεγγίσεις.....	27
3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης.....	31
3.5 Σχετικές Εργασίες .....	35
4. Μηχανική Μάθηση - Νευρωνικά Δίκτυα .....	37
4.1 Μηχανική Μάθηση.....	37
4.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.....	38
4.3 Γιατί Επιλέγω ΤΝΔ .....	46
5. Περιοχή Μελέτης .....	47
5.1 Περιγραφή της περιοχής.....	47
5.2 Η επιλογή της Αττικής .....	52
5.3 Εξέλιξη αστικής ανάπτυξης στην Αττική .....	52
6. Μεθοδολογία Εργασίας .....	54
6.1 Λογισμικό .....	54
6.1.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) .....	54
6.1.2 Περιβάλλον PyCharm .....	55
6.2 Δεδομένα.....	55
6.2.1 Διαδικασία.....	58
6.2.2 Διαχωρισμός Δεδομένων .....	58
6.3 Επιλογή μεταβλητών .....	61
6.3.1 Χωρικές Μεταβλητές.....	62
6.3.2 Κοινωνικές Μεταβλητές.....	62

6.4 Νευρωνικό Δίκτυο .....	65
6.4.1 Κανονικοποίηση .....	65
6.4.2 Αρχιτεκτονική .....	66
6.4.3 Συναρτήσεις.....	67
6.4.4 Γραφήματα .....	69
6.4.5 Διαδικασία Μάθησης (train) .....	70
6.4.6 Διαδικασία Επικύρωσης (validation).....	71
7.Αποτελέσματα .....	71
7.1 Πρώτος Τρόπος (ανά 6-άδα) .....	71
7.2 Δεύτερος Τρόπος (Χωρίς Στάσιμες Περιοχές).....	77
7.3 Τρίτος Τρόπος (ανά 12-άδα) .....	81
7.4 Τέταρτος Τρόπος (3 χρονικές στιγμές) .....	86
8. Συμπεράσματα .....	91
8.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	91
8.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις .....	92
Βιβλιογραφία .....	93

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ποσοστό παγκόσμιου αστικού πληθυσμού Πηγή: Web.....	5
Εικόνα 2 Ποσοστό αστικού πληθυσμού ανά περιοχή Πηγή: Web .....	6
Εικόνα 3 Πρότυπα Αστικής Ανάπτυξης Πήγη: Barnes et. al, 2003.....	13
Εικόνα 4 Τύποι αστικής εξάπλωσης με βάση τη μορφή Πηγή: Sprawl development: its patterns, consequences and measurements Πηγή: Barnes et. al. 2001.....	13
Εικόνα 5 Περιοχή του Χονγκ Κονγκ Πηγή: www.artpeoplegallery.com.....	17
Εικόνα 6 Hong Kong from above Πηγή: Color Splash, by architect Costas Spathis .....	17
Εικόνα 7 We are waiting for the city to come to us Πηγή: www. followgreenliving.com .....	19
Εικόνα 8 Ποσοστό πράσινων χώρων σε πόλεις του κόσμου Πηγή: Sustainable Cities International Blog & World Cities Culture Forum, 2018 .....	20
Εικόνα 9 Προσομοίωση έξυπνης πόλης Πηγή: Γεωρκακόπουλος et. al, 2013 .....	22
Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης Πηγή: Giffinger et. al. 2007 .....	23
Εικόνα 11 Φιλικές πόλεις για τους πεζούς Πηγή: www.wired.com .....	25
Εικόνα 12 Γεωγραφική κατανομή 161 μελετών όπως ορίζονται από το πρόγραμμα ταξινόμησης UN-M.49 Πηγή: G. Grekousis, 2019 .....	34
Εικόνα 13 Μικροσκοπική φωτογραφία φυσικών νευρώνων Πήγη: Γεωργούλη, 2015.....	38
Εικόνα 14 Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού νευρώνα Πήγη: Γεωργούλη, 2015.....	39
Εικόνα 15 Φυσικοί διασυνδεδεμένοι νευρώνες Πηγή: Γεωργούλη, 2015 .....	39
Εικόνα 16 Ο φυσικός νευρώνας σε σχέση με τον στοιχειώδη τεχνητό νευρώνα (Perceptron) Πηγή: Γεωργούλη, 2015 .....	41
Εικόνα 17 Η περιοχή μελέτης.....	47
Εικόνα 18 Οι ζώνες της Αττικής.....	50
Εικόνα 19 Διαχρονική αστική εξέλιξη της Αττικής 1990-2018.....	53
Εικόνα 20 Corine Land Cover .....	57
Εικόνα 21 Περιβάλλον της ιστοσελίδας του Copernicus .....	59
Εικόνα 22 Οι χρήσεις γης της Αττικής .....	60
Εικόνα 23 Αστικές και μη-αστικές εκτάσεις της Αττικής.....	60
Εικόνα 24 Ανάγλυφο Αττικής .....	63
Εικόνα 25 Πράσινες Προστατευόμενες Περιοχές Αττικής .....	63
Εικόνα 26 Σημεία ενδιαφέροντος της Αττικής.....	64
Εικόνα 27 Οδικό δίκτυο Αττικής.....	64
Εικόνα 28 Δίκτυο μέσων μαζικής μεταφοράς Αττικής.....	65
Εικόνα 29 Πρόβλεψη 2012-1ος τρόπος .....	75
Εικόνα 30 Πρόβλεψη 2018-1ος τρόπος .....	75
Εικόνα 31 Πρόβλεψη 2024-1ος τρόπος .....	76
Εικόνα 32 Πρόβλεψη 2012-2ος τρόπος .....	79
Εικόνα 33 Πρόβλεψη 2018-2ος τρόπος .....	79
Εικόνα 34 Πρόβλεψη 2024-2ος τρόπος .....	80
Εικόνα 35 Πρόβλεψη 2012-3ος τρόπος .....	84
Εικόνα 36 Πρόβλεψη 2018-3ος τρόπος .....	84
Εικόνα 37 Πρόβλεψη 2024-3ος τρόπος .....	85
Εικόνα 38 Πρόβλεψη 2012-4ος τρόπος .....	89
Εικόνα 39 Πρόβλεψη 2018-4ος τρόπος .....	89
Εικόνα 40 Πρόβλεψη 2024-4ος τρόπος .....	90



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Σχετικές εργασίες και επιστημονική έρευνα.....	35
Πίνακας 2 Γνωστότερα Είδη ΤΝΔ .....	45

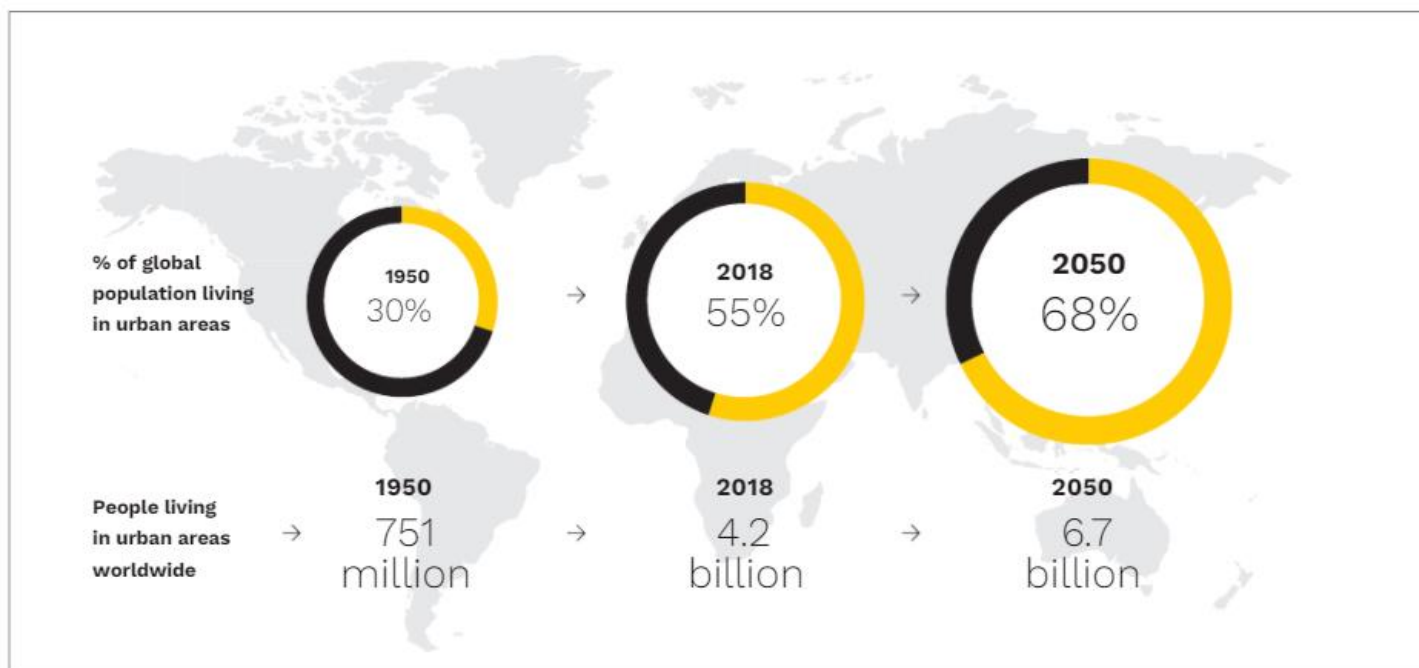
## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Διάγραμμα δομής της παρούσας εργασίας.....	8
Σχήμα 2 Μοντέλο Ομόκεντρων Ζωνών Πηγή: <a href="https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth">https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth</a> .....	28
Σχήμα 3 Τομεακό Μοντέλο Πηγή: <a href="https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth">https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth</a> .....	28
Σχήμα 4 Μοντέλο Πολλαπλών Πυρήνων Πηγή: <a href="https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth">https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth</a> .....	29
Σχήμα 5 Ένα απλό perceptron (A) και ένα multi-layer perceptron (B) που απεικονίζει επίπεδα εισόδου, κρυμμένους κόμβους και επίπεδα εξόδου. Πηγή: Pijanowski et al., 200232	
Σχήμα 6 Ένα ΤΝΔ πρόσθιας τροφοδότησης Πηγή: Γεωργούλη, 2015 .....	43
Σχήμα 7 Στάδια Ολοκλήρωσης ενός ΤΝΔ Πηγή: Γεωργούλη, 2015 .....	44
Σχήμα 8 Αναλογία Πληθυσμού στην Ελλάδα Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ .....	48
Σχήμα 9 Εξέλιξη Πληθυσμού στην Ελλάδα και την Αττική Πηγη: ΕΛΣΤΑΤ .....	48
Σχήμα 10 Ηλικιακή Πυραμίδα Αττικής Πηγη: ΕΛΣΤΑΤ .....	49
Σχήμα 11 Κατανομή Πληθυσμού στις Π.Ε. Αττικής Πηγή: Βικιπαίδεια .....	51
Σχήμα 12 Διαγραμματική απεικόνιση αστικοποίησης και απο-αστικοποίησης σημείων Αττικής.....	53
Σχήμα 13 Η συνάρτηση ReLU Πηγή: Web .....	67
Σχήμα 14 Η συνάρτηση Sigmoid Πηγη: Web .....	68
Σχήμα 15 Λειτουργία συνάρτησης Binary-Crossentropy Πηγή: <a href="https://peltarion.com/knowledge-center/documentation/modeling-view/build-an-ai-model/loss-functions/binary-crossentropy">https://peltarion.com/knowledge-center/documentation/modeling-view/build-an-ai-model/loss-functions/binary-crossentropy</a> .....	68
Σχήμα 16 Παράδειγμα γραφημάτων ακρίβειας και απώλειας Πηγη: Web.....	69
Σχήμα 17 Παράδειγμα γραφήματος σημαντικότητας μεταβλητών Πηγη: Web .....	70
Σχήμα 18 Γράφημα απώλειας-1ος τρόπος.....	73
Σχήμα 19 Γράφημα ακρίβειας-1ος τρόπος .....	73
Σχήμα 20 Γράφημα σημαντικότητας-1ος τρόπος .....	74
Σχήμα 21 Γράφημα ακρίβειας-2ος τρόπος .....	77
Σχήμα 22 Γράφημα απώλειας-2ος τρόπος.....	78
Σχήμα 23 Γράφημα σημαντικότητας-2ος τρόπος .....	78
Σχήμα 24 Γράφημα ακρίβειας-3ος τρόπος .....	82
Σχήμα 25 Γράφημα απώλειας-3ος τρόπος.....	82
Σχήμα 26 Γράφημα σημαντικότητας-3ος τρόπος .....	83
Σχήμα 28 Γράφημα ακρίβειας-4ος τρόπος .....	87
Σχήμα 27 Γράφημα απώλειας-4ος τρόπος.....	87
Σχήμα 29 Γράφημα σημαντικότητας-4ος τρόπος .....	88

## 1. Εισαγωγή

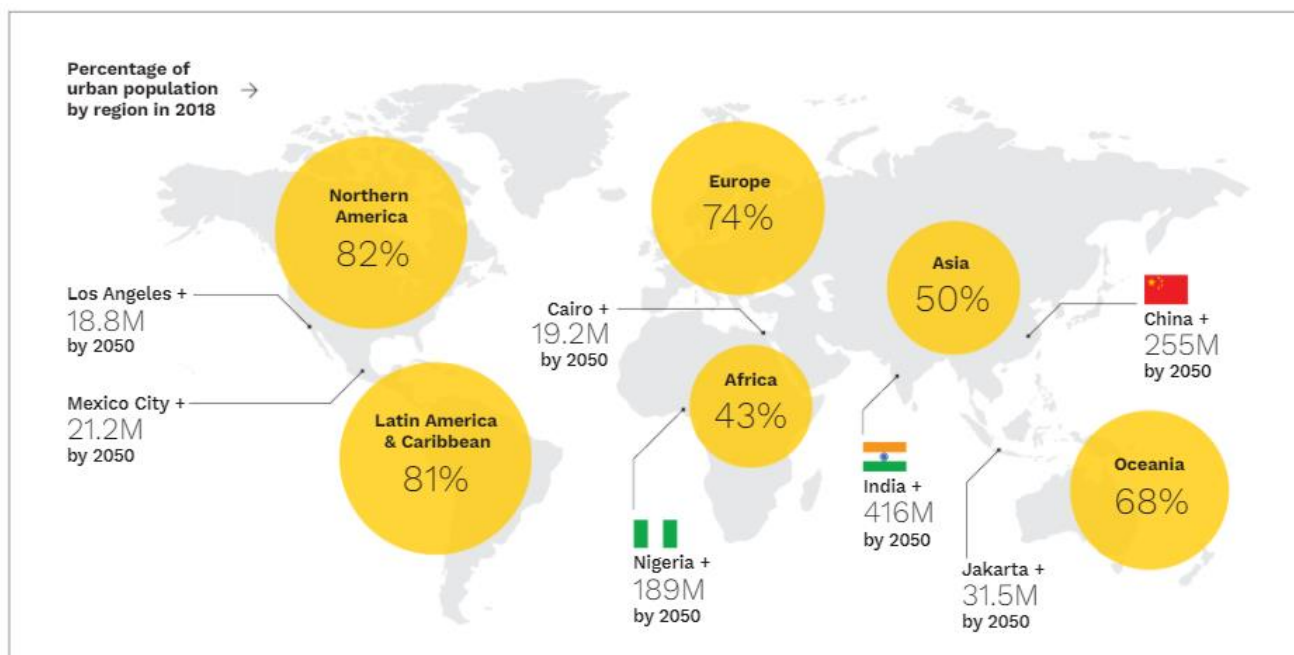
Η Γη έχει γίνει αστικός πλανήτης. Οι αστικές περιοχές απλώνονται ακόμη γρηγορότερα από ό,τι αυξάνονται οι άνθρωποι, καταπίνουν τόσο γεωργικές όσο και άγονες εκτάσεις. Αν και η παγκόσμια αστική κάλυψη γης εκτιμάται ότι καταλαμβάνει περίπου το 2% ή το 3% της συνολικής έκτασης της Γης (Lambin et al., 2001), σχεδόν το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού, κατοικεί σε πόλεις (Chunhong Zhao et al., 2019). Το έτος 1800 μόνο το 2% των ανθρώπων ζούσε σε πόλεις, ενώ το 1900 το ποσοστό αυτό αυξήθηκε σε 12%. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι το 2008 περισσότερο από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικές περιοχές (Δ. Τριαντακωνσταντής, Γ. Μουντράκης, 2012) και υπολογίζεται ότι το 54,5% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε πόλεις το 2016 (ΟΗΕ, 2016). Σύμφωνα με εκτιμήσεις, ο αστικός πληθυσμός θα αυξηθεί στο 60% του συνολικού πληθυσμού έως το 2030 (Ηνωμένα Έθνη, 2016), (Chunhong Zhao et al., 2019), (Grekousis, 2019).

Πριν από διακόσια χρόνια, η μόνη πόλη που είχε περισσότερους από ένα εκατομμύριο κατοίκους, ήταν το Πεκίνο στην Κίνα. Σήμερα, υπάρχουν περισσότερες από 500 πόλεις με πάνω από ένα εκατομμύριο ανθρώπους. Αυτό οφείλεται στη Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία συνέβαλε στην ανάπτυξη ταχύτερων μέσων μεταφοράς και μεθόδων επικοινωνίας. Αυτή η ικανότητα για ανθρώπους, πόρους και πληροφορίες να μετακινούνται γρήγορα, επιτρέπει στις πόλεις να υπάρχουν.



Εικόνα 1 Ποσοστό παγκόσμιου αστικού πληθυσμού Πηγή: Web

Η αστική διάχυση είναι το φαινόμενο που περιγράφει τα πρότυπα ανάπτυξης των σημερινών πόλεων. Ουσιαστικά είναι η μετατροπή της φυσικής γης σε τεχνητή, ή πιο απλά της μη αστικής περιοχής σε αστική. Η διαδικασία αυτή συντελείται μέσα από μία σειρά περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών αλληλεπιδράσεων. Οι μεταβολές αυτές συνεπάγονται μια σειρά από αλλαγές στο μέγεθος και στο χώρο κάθε πόλης, δια μέσου της αστικής διάχυσης ή εξάπλωσης. Το γεγονός αυτό την καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρον ερευνητικό αντικείμενο, κυρίως στους τομείς των γεωγραφικών επιστημών (Σκιαδά, 2015).



Εικόνα 2 Ποσοστό αστικού πληθυσμού ανά περιοχή Πηγή: Web

Ο όρος αστική επανάσταση (Chorra – Gobin, 2004) χρησιμοποιείται για να τονίσει την αλληλεπίδραση δύο φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σήμερα α) τη μεταβολή της κλίμακας του αστικού ιστού χωρίς την επιβολή ορίων και β) τη ραγδαία ανάπτυξη των αστικών συγκροτημάτων σε παγκόσμια κλίμακα, ιδιαιτέρως στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, πέραν των παλιών βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών.

Ως φαινόμενο η αστική διάχυση ξεκινάει στην πραγματικότητα από την ίδρυση μίας πόλης, Οι συνεχείς ανάγκες του πληθυσμού οδηγούν στην επέκταση των ορίων της πόλης, με συνέπεια οι πόλεις να καλύπτουν όλο και μεγαλύτερες εκτάσεις. Η χωρική, όμως, ανάπτυξη πραγματοποιείται με διαφορετικά πρότυπα και λαμβάνει διαφορετικές μορφές κατά τη διάρκεια των ετών. Η χωρική επέκταση των πόλεων είναι γρηγορότερη από την πληθυσμιακή τους αύξηση (γεωγραφική αστική διάχυση). Επιπλέον παρατηρείται μεγαλύτερη αστική διάχυση σε περιοχές με περισσότερο πληθυσμό. Είναι λοιπόν απαραίτητο, τα επόμενα χρόνια να αποτραπεί η άναρχη αστική διάχυση, που θα έχει καταστρεπτικές συνέπειες για το περιβάλλον.

Φυσικά εκτός της εξάπλωσης μπορεί να υπάρξει και συρρίκνωση του αστικού χώρου. Αυτή είναι όμως μία εξέλιξη που παρατηρείται σπανιότερα, καθώς η εντεινόμενη αστικοποίηση οδηγεί στην αύξηση του αστικού πληθυσμού και των δραστηριοτήτων. Η γνώση και η κατανόηση της εξέλιξης αυτών των πολύπλοκων αστικών συστημάτων συνιστούν αναγκαίες παραμέτρους του αστικού σχεδιασμού (Σκιαδά, 2015). Η αστική ανάπτυξη εξαπλώθηκε έξω από τα οικονομικά κέντρα και μερικές φορές σχηματίζει νέα οικονομικά κέντρα, ή σε

μελλοντικό στάδιο συγχωνεύεται με κοντινές πόλεις για να σχηματίσει τεράστιες αστικές περιοχές που συνδέονται γεωγραφικά, οικονομικά και κοινωνικά.

Είναι απαραίτητη η διαχείριση του φαινομένου, ώστε αφενός να μελετηθούν τα πρότυπα της ανάπτυξης και αφετέρου να γίνει πρόβλεψη της μελλοντικής της επίδρασης, να αξιολογηθούν τα μελλοντικά σχέδια, αλλά και να εντοπιστούν οι περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές ή και άλλα σημεία που πρέπει να διαφοροποιηθούν. Η έρευνα για την πρόβλεψη αυτής της περίπλοκης διαδικασίας είναι ιδιαίτερα καρποφόρα για τη λήψη αποφάσεων σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς επιτρέπει την εισαγωγή μιας πιο βιώσιμης αστικής πολιτικής (Marvin Mc Cutchan et al, 2020). Η μελέτη της αστικής διάχυσης επιβάλλει λοιπόν τη χρήση κατάλληλων εργαλείων για το σκοπό αυτό.

Για την προσομοίωση της αστικής διάχυσης ένα από τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι κατάλληλα αστικά μοντέλα. Τα μοντέλα που έχουν ανάπτυχθει μέχρι τώρα παρέχουν τη δυνατότητα αναπαράστασης και προσομοίωσης της πολυπλοκότητας του φαινομένου υπό το πρίσμα της δυναμικής του εξέλιξης.

### 1.1 Στόχος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το φαινόμενο της αστικής διάχυσης και οι επιπτώσεις του στην εξέλιξη και την επέκταση των αστικών περιοχών.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχτηκε η περιφερειακή ενότητα της Αττικής, καθώς περιέχει την πολυπληθή πρωτεύουσα της χώρας και αναμένεται να παρουσιάζει και τις πιο ενδιαφέρουσες μεταβολές στις κατοικημένες περιοχές της.

Τελικός στόχος της εργασίας είναι η πρόβλεψη της χωρικής εξάπλωσης των κατοικημένων περιοχών. Για το σκοπό αυτό, θα γίνει αρχικά μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της Αττικής μέσω δεδομένων του προγράμματος Copernicus. Στην εργασία περιλαμβάνονται ο διαχωρισμός της γης σε αστική και μη αστική, καθώς επίσης και ο υπολογισμός όλων των άλλων απαραίτητων χωρικών δεδομένων. Θα πραγματοποιηθεί λοιπόν η ανάλυση του φαινομένου της αστικής διάχυσης και η εξαγωγή προβλέψεων, λαμβάνοντας υπόψη τη χωροχρονική δομή του φαινομένου. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τεχνικές μηχανικής μάθησης και νευρωνικά δίκτυα, όπως επίσης και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS).

Τα εργαλεία αυτά επιλέχτηκαν λόγω της ευελιξίας τους και τη δυνατότητας που έχουν να δέχονται δεδομένα πολλών τύπων όπως για παράδειγμα κοινωνικά, δημογραφικά, οικονομικά, στοιχεία από δορυφορικές εικόνες και άλλα.

### 1.2 Δομή

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από 7 κεφάλαια το καθένα από τα οποία περιέχει επιμέρους υποκεφάλαια.

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας, αναφέρεται το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης αστικής ανάπτυξης, καθορίζεται ο στόχος της διπλωματικής και περιγράφεται η δομή των κεφαλαίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο με τίτλο «Αστική Εξάπλωση» περιγράφεται πιο αναλυτικά το φαινόμενο της αστικής διάχυσης, όπως επίσης και οι μορφές και οι επιπτώσεις της, η χρησιμότητα της πρόβλεψης της και προτείνονται τρόποι διαχείρισης του φαινομένου.

Στο τρίτο κεφάλαιο με τίτλο «Αστικά Μοντέλα» αναφέρονται αρχικά οι θεωρητικές προσεγγίσεις και οι βασικές θεωρίες μοντελοποίησης. Έπειτα παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχα προβλήματα αστικής εξάπλωσης. Τέλος, αναλύονται τα πιο συνηθισμένα μοντέλα αστικής εξάπλωσης που έχουν δημιουργηθεί μέχρι τώρα από τη διεθνή βιβλιογραφία.

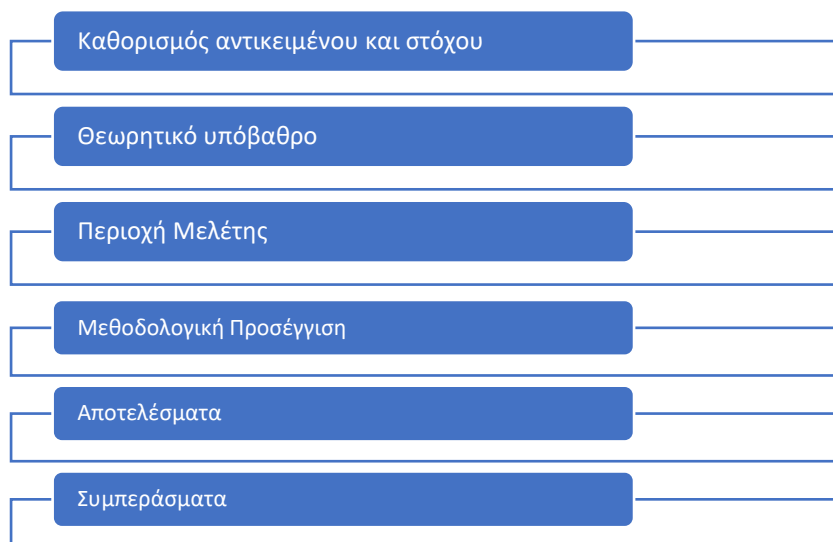
Στο τέταρτο κεφάλαιο «Μηχανική Μάθηση - Νευρωνικά Δίκτυα» περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία της Τεχνητής Νοημοσύνης και αναφέρονται οι βασικές θεωρίες και ο τρόπος λειτουργίας των νευρωνικών δικτύων, δηλαδή των βασικών τεχνικών που θα χρησιμοποιηθούν στη διπλωματική.

Στο πέμπτο κεφάλαιο με τίτλο «Περιοχή Μελέτης» περιγράφεται η περιφέρεια Αττικής, αναλύονται οι λόγοι που επιλέχθηκε ως περιοχή παρέμβασης και γίνεται μία σύντομη περιγραφή της αστικής της εξέλιξης.

Το έκτο κεφάλαιο είναι το πιο σημαντικό, καθώς παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας. Αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο οργανώθηκαν τα δεδομένα και η κατασκευή του νευρωνικού δικτύου.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο «Συμπεράσματα-Προτάσεις» αναφέρονται τα συμπεράσματα από την παρούσα διπλωματική, αλλά και προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη παρόμοιας έρευνας.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται μία αναπαράσταση των βασικών στοιχείων της δομής της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 1 Διάγραμμα δομής της παρούσας εργασίας

Στην συνέχεια, ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, με την αναλυτική περιγραφή του φαινομένου της αστικής ανάπτυξης.

## 2. Αστική Διάχυση

### 2.1 Ορισμός

Η αστική διάχυση (urban sprawl), είναι ένας όρος ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως για να περιγράψει πολλά φαινόμενα που συνδεόνται με την ανάπτυξη των πόλεων, τις μορφές αστικοποίησης και τις διαδικασίες αστικών μεταβολών. Αποτελεί ένα παγκόσμιο φαινόμενο που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στη σημερινή εποχή και μια από τις πιο εντυπωσιακές ανθρωπογενείς διεργασίες μετατροπής της φυσικής γης σε τεχνητή γη μέσα από μια σειρά περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών αλληλεπιδράσεων.

Στην πραγματικότητα, η αστική διάχυση είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι δύσκολο να οριστεί επαρκώς. Αυτό φαίνεται και μέσα από τη φράση «Την αστική διάχυση είναι δύσκολο να την ορίσεις, άλλα την γνωρίζεις όταν τη δεις» (Cervero, 2000).

Επίσης, ένας πολύ δημοφιλής ορισμός είναι αυτός του (Brueckner, 2000) που ορίζει την αστική διάχυση ως «την υπερβολική χωρική ανάπτυξη των πόλεων». Με την απλούστερη έννοια, η αστικοποίηση είναι η μετακίνηση ανθρώπων, από αγροτικές περιοχές σε αστικές περιοχές.

Επιχειρώντας μια κατάταξη των ορισμών για τη διάχυση, τέσσερις είναι οι κύριες κατηγορίες στις οποίες στηρίζονται: α) πυκνότητα, β) στις χρήσεις γης, γ) στην χωρική μορφή και δ) στις επιδράσεις, κάθε μία ορίζεται από επιμέρους ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Δεν συναντάται ορισμός που να περιλαμβάνει χαρακτηριστικά μίας μόνο κατηγορίας, αλλά συνήθως συνδιάζουν χαρακτηριστικά και από άλλες κατηγορίες.

Αναφέρεται συγκεκριμένα ο ορισμός της πυκνότητας: «η αναπαράσταση της αναλογίας, μιας συγκεκριμένης αστικής δραστηριότητας προς την επιφάνεια της γης στην οποία συμβαίνει». Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι η μίξη των χρήσεων γης είναι αυτή που καθορίζει τη δομή της αστικής διάχυσης, καθώς ανάμεσα στις χρήσεις γης παρουσιάζεται χωρική αυτοσυσχέτιση.

Η αστική διάχυση ουσιαστικά αφορά την εξάπλωση των προαστίων των πόλεων, καθώς συντελείται μετακίνηση των ορίων της πόλης προς τα εξωαστικές περιοχές. Τα προάστια που δημιουργούνται συνήθως έχουν χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, ενώ παράλληλα παρατηρείται και διαχωρισμός των χρήσεων γης, αυτών των αγροτικών περιοχών). Αστική διάχυση σημαίνει επέκταση μιας πόλης προς την περιφέρειά της που περιλαμβάνει κυρίως αγροτικές εκτάσεις. Συντελείται έτσι η μετατροπή του ανοιχτού χώρου σε χτισμένο με την πάροδο των ετών. (Παγιατάκη, 2016)

Η ανάπτυξη των πόλεων συνδέθηκε αρχικά με την αύξηση του πληθυσμού και παραμένει ως σήμερα συνδεδεμένη με αυτή. Αναδεικνύονται και άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην επέκταση των πόλεων, όπως είναι η αύξηση της χρήσης του αυτοκινήτου, η προτίμηση στις μονοκατοικίες, οι επενδύσεις και βέβαια η αποτελεσματικότητα των πολιτικών χρήσεων γης.

Ο όρος «διάχυση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει το αστικό περιβάλλον από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η πρώτη χρήση του όρου εντοπίζεται το 1937 και αποδίδεται στον Earle Draper, ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο για να αναφερθεί σε μια μορφή εγκατάστασης οικονομικά ασύμφορη και χωρίς αισθητική (Franz et al, 2006).

Έτσι, είναι αναμενόμενο να παρατηρείται κορύφωση της αστικής διάχυσης σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού και οικονομική δραστηριότητα ή σε περιοχές με ταχεία οικονομική ανάπτυξη.

Η διάχυση αποτελεί μία από τις επικρατέστερες μορφές της αστικής ανάπτυξης, η οποία δε βασίζεται στο σχεδιασμό και στον έλεγχο της χωρικής οργάνωσης. Πρόκειται για μία πρόχειρη ανάπτυξη, διασκορπισμένη και συνήθως ασυνεχή, που αφήνει ενδιάμεσα κενά τμήματα αγροτικής γης.

Τονίζεται, πως πρόκειται για «Αστική ανάπτυξη χαμηλής πυκνότητας διάσπαρτη, χωρίς πρόβλεψη και σχεδιασμό χρήσεων γής».

Χαρακτηριστικά:

- Χαμήλη πυκνότητα
- Απουσία Σχεδιασμού
- Μη οργανωμένη και διάσπαρτη δόμηση
- Δόμηση σε βάρος της υπαίθρου

Οι διάχυτες πόλεις που δημιουργούνται είναι το αποτέλεσμα της άναρχης εξάπλωσης και χαρακτηρίζονται από ανικανότητα για ορθή και ελεγχόμενη ανάπτυξη. Η αστική διάχυση καταναλώνει πολύ περισσότερο χώρο από την οργανωμένη επέκταση.

Υπάρχουν μερικές σημαντικές θεωρίες σχετικά με την αστικοποίηση στις πόλεις. Οι πόλεις έχουν πολλές σημαντικές λειτουργίες, αλλά έχουν επίσης και τις δυσλειτουργίες τους. Είναι ένα κομμάτι του πολιτισμού και προωθούν διαφορετικούς πληθυσμούς, αλλά φιλοξενούν επίσης το έγκλημα και άλλες διαταραχές στην κοινωνία. Σύμφωνα με τη θεωρία των συγκρούσεων, οι πόλεις είναι πηγές οποιασδήποτε μορφής ψυχαγωγίας για τους πλούσιους. Η ποικιλομορφία των πολιτισμών στο κοινωνικό υπόβαθρο απλώς αυξάνει τη σύγκρουση για τις πεποιθήσεις και τις αξίες. Οι πόλεις είναι μέρη όπου οι άνθρωποι έχουν διαφορετικό τρόπο να βλέπουν τη ζωή. Διαθέτουν ισχυρές πολιτιστικές αξίες και οι άνθρωποι που ζούν σε αυτές έχουν διαφορετικές αλληλεπιδράσεις, προοπτικές και αξίες για την αστική ζωή.

### **Συνομή Ιστορική Αναδρομή**

Αρχικά, η αστικοποίηση ξεκίνησε κατά τη βιομηχανική επανάσταση κυρίως λόγω των σημαντικών βελτιώσεων και της τεχνολογίας. Οι άνθρωποι έχαναν τις δουλειές τους στα αγροκτήματα κατά τη διάρκεια της εκβιομηχάνισης από τα μηχανήματα. Έτσι, έπρεπε να μετακινηθούν στις πόλεις για να βρουν εργασία και στέγαση, προκαλώντας την πληθυσμιακή ανάπτυξη των αστικών περιοχών. Οι πόλεις έχουν καταστεί δυνατές λόγω των καλύτερων τεχνικών κατασκευής και των βελτιωμένων υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, όπως νερό, ρεύμα και οδικό δίκτυο. Όλα αυτά διευκόλυναν την ανάπτυξη των πόλεων περισσότερο από ποτέ. Σήμερα, πολλοί από τους ίδιους λόγους εξακολουθούν να ισχύουν για άτομα που μετακινούνται από αγροτικές περιοχές, για λόγους όπως, περισσότερες ευκαιρίες εργασίας και βελτιωμένες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Υπάρχουν καλύτερες υπηρεσίες ή ίσως περισσότερες επιλογές για εκπαίδευση και μεταφορά, όπως επίσης και ευκολότερη και ταχύτερη πρόσβαση σε ιατρική βοήθεια. Η αύξηση του πληθυσμού και οι περιορισμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, οδήγησαν επίσης στη μετακίνηση των ανθρώπων στις πόλεις, με σκοπό την εύρεση εργασίας και μίας καλύτερης ζωής.



## 2.2 Αιτίες

Το φαινόμενο της αστικής διάχυσης έχει απασχολήσει διαχρονικά πολλούς μελετητές, ωστόσο παρατηρείται μεγάλη σύγχυση σχετικά με τις αιτίες του. Θεωρείται ότι συναρτάται από πλήθος παραγόντων, οι οποίοι δύνανται να διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των πόλεων. Οι αιτίες των αστικών φαινομένων που παρατήρουνται κατά περιόδους εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των παραγωγικών σχέσεων.

Φυσικά η αστική μεγέθυνση αποτελεί προάγγελο της εμφάνισης του φαινομένου της αστικής διάχυσης, καθώς επίσης καθοριστικό ρόλο παίζει και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η μεγέθυνση. Τα βασικά αίτια δημιουργίας του φαινομένου της αστικής διάχυσης συνοψίζονται και παρουσιάζονται παρακάτω (Bhatta, 2010).

### ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ

Κύρια και διαχρονική αιτία της αστικής διάχυσης είναι η **αύξηση του πληθυσμού** στα αστικά κέντρα. Η μεγάλη αυτή συγκέντρωση στον αστικό ιστό προκύπτει αφενός από την φυσική πληθυσμιακή αύξηση, αφετέρου από τα φαινόμενα αστικοποίησης (μετακίνηση στο κέντρο προς αναζήτηση εργασίας, καλύτερων όρων διαβίωσης).

Παρόλο που τα τελευταία χρόνια καταγράφεται μείωση της φυσικής αύξησης του πληθυσμού, οι προσφυγικές και μεταναστευτικές ροές από χώρες της Β. Αφρικής και της Ασίας αποτελούν την κύρια πηγή πληθυσμιακής αύξησης, κυρίως στις χώρες της Ευρώπης. Η αύξηση αυτή δημιουργεί την ανάγκη για αύξηση/επέκταση της αστικής γης, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του νέου πληθυσμού και κατά συνεπεία εντείνονται και τα φαινόμενα αστικοποίησης (Μπαρτζώκα, 2016).

### ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ-ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ

Οι επιλογές των ανθρώπων σε χωρικό επίπεδο, γίνονται με βάση τις αντιλήψεις τους την κάθε χρονική περίοδο και δεν είναι αποτέλεσμα μόνο από κάποιο ιδεολογικό πρότυπο. Έτσι, οι αλλαγές που πραγματοποιούνται στον αστικό χώρο είναι αποτέλεσμα των προσωπικών αντιλήψεων όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί. Γενικά, οι τάσεις μετακίνησης εξαρτώνται από: α) τις προσωπικές προτιμήσεις, β) τις ευκαιρίες ή τις δυνατότητες του κάθε ατόμου ή της οικογένειάς του, γ) τους περιορισμούς που προκύπτουν από κάθε νοικοκυριό ή από κάθε άτομο ξεχωριστά.

Σύμφωνα με τον Mitchell (2004) «Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων δίνει τρεις διαφορετικές εκφράσεις της αποίκησης της υπαίθρου. Α) την **έξω-αστικοποίηση**, που περιγράφει τη μεταφορά της κατοικίας στην υπαίθρο χωρίς τη αποκοπή από κάθε πτυχή της αστικής ζωής. Την τάση αυτή τη συναντάμε πιο συχνά σε οικογένειες με μικρά παιδιά οι οποίες επιθυμούν ένα καλύτερο περιβάλλον, το οποίο όμως θα βρίσκεται κοντά στο κεντρικό ιστό ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση σε υποδομές και στον τόπο απασχόλησης. Β) την **εκτοπισμένη αστικοποίηση**, η οποία πραγματοποιείται από κατοίκους χαμηλότερων οικονομικών στρωμάτων και σε πιο απομακρυσμένες περιοχές, ενώ δεν πρέπει να συγχέεται με την προηγούμενη μορφή αστικοποίησης. Το κομμάτι αυτό του πληθυσμού αναζητά χαμηλότερες αξίες γης και πολλές φορές εύρεση εργασίας σε αυτές, προς αποφυγή των μετακινήσεων προς το κέντρο. Γ) την **άντι-αστικοποίηση**, η οποία αποτελεί μία επιλογή με όρους απόρριψης του αστικού τρόπου ζωής. Στην περίπτωση αυτή ο τόπος εργασίας συμπίπτει με τον τόπο κατοικίας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οικογένειες από κάθε

είδους κοινωνικά στρώματα, όπου πολλές φορές τα άτομα της οικογένειας έχουν αποσυρθεί από την εργασία τους (Mitchell, 2004, Γεμεντζή Γ, 2011).

### ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ

Η εξέλιξη του φαινομένου της αστικής διάχυσης επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από οικονομικούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η **οικονομική ευμάρεια** και η αύξηση του ποσοστού κατοχής **ιδιωτικού μέσου μεταφοράς**, αλλά και οι επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης, όπως η ανεργία ή η μείωση της απασχόλησης σε συγκεκριμένους τομείς (π.χ. γεωργία).

Στα οικονομικά αίτια περιλαμβάνονται και οι κινήσεις που πραγματοποιεί **το κατασκευαστικό κεφάλαιο**. Η χαμηλή αξία της αγροτικής γης ανοίγει επενδυτικούς δρόμους. Η δημιουργία κύριας ή δεύτερης κατοικίας στην περιφέρεια των πόλεων θεωρείται ακόμα ως μια πολύ καλή ευκαιρία επένδυσης. Οι τιμές της γης στην ύπαιθρο αρχικά είναι πιο χαμηλές σε σχέση με αυτές του κέντρου, όμως η ανοδική τους πορεία πραγματοποιείται πολύ πιο γρήγορα (Couch and Carecha, 2006 Γεμεντζή Γ., 2011).

Πρόσθετη **αξία στις αγροτικές περιοχές** επιφέρουν οι δημόσιες επενδύσεις που πραγματοποιούνται, κυρίως η επέκταση και η αναβάθμιση του αστικού δικτύου.

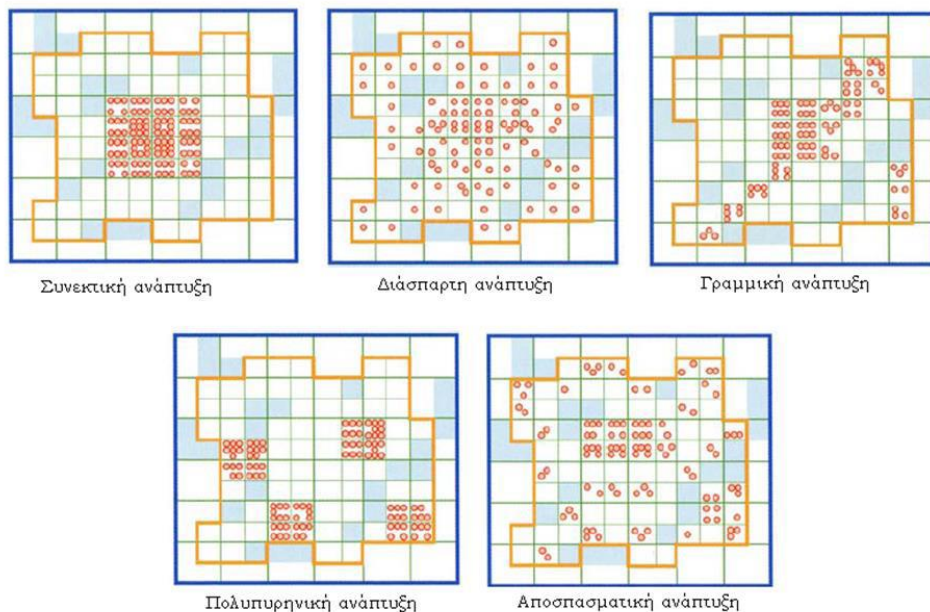
Γενικά, οι χρήσεις γης αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της αποδοτικότητας της γης σε οικονομικούς όρους. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης και γενικότερα στο χωρικό σχεδιασμό, εξαρτώνται και προκαλούνται από την αλληλεξάρτηση των δημόσιων και ιδιωτικών φορέων και συμφερόντων. Συνεπώς, οι ιδιωτικές επενδύσεις στον αστικό χώρο δεν αφήνουν ανεπηρέαστες και αδιάφορες τις κρατικές πολιτικές χωρικού σχεδιασμού (ESPON, 2005, Γεμεντζή Γ., 2011)

### 2.3 Μορφές Αστικής Εξάπλωσης

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι κύριες συνιστώσες της αστικής διάχυσης χρησιμοποιείται η μέτρηση οκτώ διακριτών διαστάσεων (δεικτών) των χρήσεων γης. Οι διαστάσεις αυτές είναι η πυκνότητα, η συνέχεια, η συγκέντρωση, η ομοιομορφία, η κεντρικότητα, η πυρηνικότητα, ο συνδυασμός χρήσεων γης και η εγγύτητα (Galster et al., 2001).

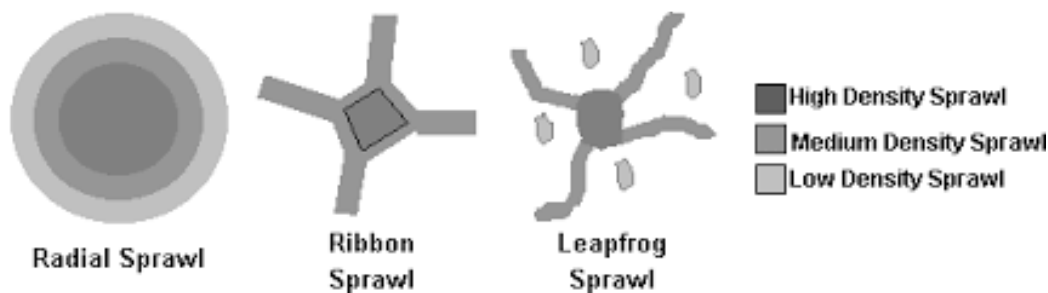
Αρχικά οι Barry et al., στηριζόμενοι στην εργασία των Galster et al μελέτησαν τις μορφές της αστικής διάχυσης και κατέληξαν στην αποτύπωσή τους μέσω κάποιων απλοποιημένων γεωμετρικών σχηματισμών οι οποίοι μας προσφέρουν και μια οπτική αναπαράσταση. Συγκεκριμένα κατέληξαν στους ακόλουθους τύπους.

- Συνεκτική ανάπτυξη
- Διάσπαρτη ανάπτυξη
- Γραμμική ανάπτυξη
- Πολυπυρηνική ανάπτυξη
- Αποσπασματική ανάπτυξη



Εικόνα 3 Πρότυπα Αστικής Ανάπτυξης Πηγή: Barnes et. al, 2003

Στη συνέχεια μία ακόμη κατηγοριοποίηση της αστικής διάχυσης είναι αυτή που προσδιορίζεται με βάση τη μορφή της ανάπτυξης των αστικών προτύπων.



Εικόνα 4 Τύποι αστικής εξάπλωσης με βάση τη μορφή Πηγή: Sprawl development: its patterns, consequences and measurements Πηγή: Barnes et. al. 2001

- 1) Χαμηλής πυκνότητας συνεχής διάχυση ή προαστιακή ανάπτυξη (Radial Sprawl) : αυτή η αστική εξάπλωση προκαλείται από την προς τα έξω εξάπλωση του οικιστικού χώρου πέρα από τα όρια των υφιστάμενων μητροπολιτικών περιοχών, μετατρέποντας τις νέες εκτάσεις σε αστικές περιοχές χαμηλής πυκνότητας. Αυτού του είδους η εξάπλωση χαρακτηρίζεται από αποσπασματικές επεκτάσεις των βασικών υποδομών, δηλαδή της ύδρευσης, της αποχέτευσης, της ηλεκτροδότησης και των οδικών συνδέσεων.
- 2) Γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη κατά μήκος των οδικών αξόνων (Ribbon Sprawl): Αυτού του είδους η εξάπλωση χαρακτηρίζεται από την αποκέντρωση της ανάπτυξης με κατεύθυνση από τα αστικά κέντρα προς τα έξω, κατά μήκος των βασικών οδικών αρτηριών και των κύριων οδικών αξόνων. Αρχικά, παρατηρείται ανάπτυξη των περιοχών που βρίσκονται σε επαφή με τις βασικές αρτηρίες, ενώ οι πιο απομακρυσμένες εκτάσεις μπορεί να μετατραπούν αργότερα με τη σειρά τους σε αστικές όταν αυξηθεί η αξία των οικοπέδων και επεκταθούν οι υποδομές από τις κύριες οδούς.

- 3) Αποσπασματική ασυνεχής ανάπτυξη (Leapfrog Sprawl): αφορά σε μια διάσπαρτη μορφή αστικοποίησης με αποσπασματικά κομμάτια αστικής γης, τα οποία βρισκόνται διάσπαρτα ανάμεσα σε μη αστικές εκτάσεις και εκτάσεις πρασίνου. Αυτού του είδους η εξάπλωση είναι η πιο ακριβή κυρίως λόγω της ανάγκης της εξάπλωσης των αστικών υποδομών που θα πρέπει να συνδέσουν αυτές τις εκτάσεις, όπως νέοι δρόμοι, αποχέτευση, ηλεκτροδότηση, υδροδότηση κλπ. Οι κύριες αιτίες αυτού του είδους της εξάπλωσης είναι το ανάγλυφο της περιοχής, καθώς μπορεί να υπάρχουν φυσικά εμπόδια, βουνά κλπ. ή η ύπαρξη υδάτινων επιφανειών, αλλά και άλλες αιτίες όπως για παράδειγμα διαφορετικές πολιτικές ανάπτυξης σε κάθε περιοχή.

Τέλος οι Gamagni, Gibelli και Rigamonti κατέληξαν σε 5 τύπους αστικής διάχυσης:

- 1) Συμπληρωματική ανάπτυξη (infilling), η οποία περιγράφει την προσθήκη νέας κτισμένης επιφάνειας στον ήδη δομημένο αστικό ιστό, σε εκτάσεις που είχαν μείνει κενές κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.
- 2) Εξάπλωση (extension), η οικιστική επέκταση που πραγματοποιείται πέριξ του αστικού κέντρου.
- 3) Γραμμική ανάπτυξη (linear), η αστική διάχυση που αναπτύσσεται με γνώμονα τους βασικούς οδικούς άξονες.
- 4) Διάχυση (sprawl), περιγράφει τα νέα διάσπαρτα δομημένα τεμάχια
- 5) Σχέδια μεγάλης κλίμακας (large-scale projects), τα οποία αφορούν στην ανάπτυξη μεγάλων τεμαχίων αξιοσημείωτου μεγέθους, που όμως δεν εξαρτώνται από την ήδη υπάρχουσα χτισμένη επιφάνεια.

Σύμφωνα με την Λεοντίδου (2001) «Η πόλη αποτελεί προϊόν της κοινωνίας, την γεωγραφική έκφραση μιας οικονομίας, ένος πολιτισμού, μιας πολιτικής πραγματικότητας». Συνεπώς η διάχυτη πόλη αντιπροσωπεύει μάλλον την υπεροχή του ιδιωτικού έναντι του δημόσιου και του ατομικού έναντι του συλλογικού (Πετρολέκας, 2014).

#### **ΑΣΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ**

Η αρχιτεκτονική της πόλης σύμφωνα με τον Rossi (1982) χαρακτηρίζεται από τρία σημαντικά αστικά τμήματα: τα κτίρια, τους δρόμους και τα οικοδομικά τετράγωνα (πλατείες). Είναι οι μεταβλητές που επηρεάζουν την αστική δραστηριότητα.

Το **κτίριο** αποτελεί έναν από τους βασικούς αστικούς συντελεστές. Κτίριο θεωρείται η ανεξάρτητη κατασκευή που προορίζεται για: (α) κατοίκηση, (β) άσκηση κάποιου επαγγέλματος ή εκτέλεση κάποιας εργασίας, (γ) αποθήκευση και (δ) λειτουργία μηχανημάτων. Το περίβλημα των κατοικιών είναι το όριο που διαφοροποιεί τον ιδιωτικό από τον δημόσιο χώρο, το οποίο περιλαμβάνει δύο βασικούς αστικούς συντελεστές: τους δρόμους και τις αστικές πλατείες.

Ο **δρόμος** αποτελεί την κοινόχρηστη έκταση που λειτουργεί, κυρίως, για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας. Λόγω αυτής της κυρίαρχης λειτουργίας του, η αρχιτεκτονική του γίνεται αντιληπτή διά του βαδίσματος ή της μετακίνησης με μηχανοκίνητα μέσα. Ωστόσο, σχετίζεται και με τις λουπές λειτουργίες του, οι οποίες, πέραν της σύνδεσης των σημείων εντός ή εκτός πόλης, είναι οι εξής: (α) πολιτικές, που αφορούν πορείες, διαδηλώσεις, παρελάσεις (σε κάποιες χώρες ή και σε κάποιες χρονικές περιόδους), (β) πολιτισμικές-θρησκευτικές, που

αφορούν τελετουργίες προς ιερά και λατανίες, (γ) συμβολικές αναπαραστάσεις, που σχετίζονται με την επίδειξη ισχύος και τη μεταφορά μηνύματος (Αραβαντινός και Κοσμάκη, 1988).

Η **πλατεία** αποτελεί τη χωρική δομή του ελεύθερου χώρου που προκύπτει από την παράθεση κτιρίων γύρω από αυτόν, δημιουργώντας την «αίσθηση του περικλειστού» και αποτελεί το βασικό πλαίσιο της ανθρώπινης δραστηριότητας στο δημόσιο χώρο. Κατά τον Webb (1990), οι πλατείες είναι ο μικρόκοσμος της αστικής ζωής, αφού αποτελούν χώρο ξεκούρασης, αναψυχής, διασκέδασης, ανταλλαγής απόψεων, ιδεών και εμπορευμάτων, πολιτικής έκφρασης, θρησκευτικών τελετουργιών και παρατήρησης λοιπών ανθρώπων. Πάντως, αξίζει να σημειωθεί πως η κεντρικότητα των πλατειών δεν αφορά τη γεωμετρική κεντρικότητα (κέντρο οικισμού), αλλά τη λειτουργική κεντρικότητα.

Τα σύνολο των δρόμων και των πλατειών, σε συνδυασμό με τα πάρκα, αποτελεί το σύνολο του δημόσιου χώρου μιας πόλης, στον οποίο καλείται να παρέμβει ο αστικός σχεδιαστής. Η νέα μορφή του αστικού χώρου, προσδίδει νέα οπτική και νέα αντίληψη στους χρήστες του, και για το λόγο αυτό, ο αστικός σχεδιασμός σχετίζεται σε υψηλό βαθμό με την ποιότητα ζωής και την ανάπτυξη.

#### 2.4 Επιπτώσεις

Έτσι, ενώ η αστικοποίηση είναι απλώς η μετακίνηση ανθρώπων από αγροτικές περιοχές σε αστικές περιοχές, οι επιπτώσεις της είναι πολύ πιο διαδεδομένες, τόσο στους ανθρώπους που ζουν στις πόλεις, όσο και στην ανάπτυξη των ίδιων των πόλεων.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της αστικής διάχυσης είναι η **μειωμένη προσβασιμότητα** εξαιτίας του διαχωρισμού των χρήσεων γης (Ewing, 1997).

Ο κοινωνιολόγος William H. Whyte στο περιοδικό Fortune 1958, αναφέρει «Το πρόβλημα είναι η μορφή της ανάπτυξης, ή καλύτερα η έλλειψη αυτής, η διάχυση είναι κακή αισθητική, είναι κακή οικονομία». Από τότε ο όρος χρησιμοποιήθηκε συχνά από τους πολεοδόμους για να περιγράψει την αστική ανάπτυξη που έχει ανεπιθύμητες συνέπειες και τις περισσότερες φορές και μη ελεγχόμενες. Όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις όπου αναγνωρίζουμε το φαινόμενο από τα αποτελέσματα, έτσι και εδώ η αστική διάχυση είναι δυστυχώς ορατή μέσω των αρνητικών επιπτώσεων που έχει στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Η αστική ανάπτυξη έχει επιπτώσεις πολύ πέρα από τη γη που καταναλώνεται από τα κτήρια, τις υποδομές και τα περιβάλλοντά τους.

#### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι πάρα πολλές και κατά κόρον αρνητικές, όπως για παράδειγμα η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και η απώλεια των οικοσυστημάτων που βρίσκονται κοντά στις μεγάλες πόλεις (Khan 2000). **Η γη καταναλώνεται με πιο γρήγορο ρυθμό**, καθώς οι πληθυσμοί μετακινούνται από τις αστικές περιοχές στα προαστικά περίχωρα (Porter, 2000, Kahn, 2000, Dwyer and Childs, 2004). Οι περιοχές γύρω από τις μεγάλες πόλεις μετατρέπονται από αγροτικές/μη αστικές σε αστικές εκτάσεις. **Είναι όμως πεπερασμένες, αποτελούν δηλαδή ένα φυσικό πόρο μη ανανεώσιμο** και μη αντιστρέψιμο, που για να αντιστραφεί χρειάζεται να δαπανηθούν πολλοί πόροι με υψηλό οικονομικό κόστος (Porter 2000). Η επέκταση των αστικών εκτάσεων πραγματοποιείται με τίμημα την καταστροφή μεγάλου τμήματος αγροτικών και αστικών περιοχών, με αποτέλεσμα σε πολλές περιοχές τα εδάφη να επιβαρύνονται ανεπανόρθωτα. Η εκτεταμένη οικοδομική

δραστηριότητα με την καθημερινή χρήση τσιμέντου επιφέρει στεγανοποίηση του εδάφους με κίνδυνο έντονων πλημμύρων, αλλαγή του μικροκλίματος καθώς και διατάραξη των οικοσυστημάτων (ΕΕΑ, 206 & Πετρολέκας, 2014). Ο κατακερματισμός μεγάλων εκτάσεων σε μικρότερες χωρικές μονάδες, μπορεί επιπρόσθετα να αναστείλει τις κινήσεις της άγριας ζωής (Peck 1998, Cieslewicz, 2002). Τα πρότυπα αυτά της αποσπασματικής ανάπτυξης τεμαχίζουν το φυσικό τοπίο αφήνοντας μπαλώματα κενής γης αναμειγμένα με χτισμένες περιοχές (Brody, 2008).

Η κατανάλωση των αποθεμάτων ενέργειας που αφορούν στις μετακινήσεις και στα δίκτυα παροχής ηλεκτρισμού, θέρμανσης κ.ά. στις όλο και πιο απομακρυσμένες αυθαίρετες κατοικίες, έρχεται να προστεθεί στις παράπλευρες περιβαλλοντικές απώλειες (ΕΕΑ, 2006). Επιπλέον καθώς οι ανάγκες για μεγαλύτερες μετακινήσεις αυξάνονται, αυξάνεται και η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου. Αποτέλεσμα αυτής της υπερβολικής χρήσης είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, τη μείωση της ποιότητας του αέρα και τη μεγαλύτερη σπάταλη χρόνου στις μετακινήσεις (Nechyba and Waish 2004).

### **ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**

Υπάρχουν ακόμα και οι κοινωνικές συνέπειες με πιο σημαντική την **ομαδοποίηση των κατοίκων**. Πολλές φορές η αστική εξάπλωση συνδέεται με έντονους διαχωρισμούς της οικιστικής ανάπτυξης ανάμεσα σε διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες. Συνήθως τα κατώτερα κοινωνικά στρώματα κατοικούν στα κέντρα των πόλεων, ενώ στα προάστια επιλέγουν να μένουν άνθρωποι που ανοίκουν στα μεσαία και στα ανώτερα στρώματα (Barnes et al. 2001). Όσοσο, η προαστική εμπειρία για άλλες ομάδες, περιλαμβανομένων νέων και ηλικιωμένων, που δεν έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης, αλλά ούτε και τους απαιτούμενους πόρους, μπορεί να αποδειχτεί μια πολύ δύσκολη διαδικασία μειώνοντας ταυτόχρονα την κοινωνική αλληλεπίδραση (Σταυράκου, 2014).

Παράλληλα, στις υπό καθεστώς αστικής διάχυσης διαμορφούμενες περιοχές, **παρατηρείται απουσία δημόσιων χώρων**. Το στοιχείο αυτό προκύπτει φυσικά, καθώς προκειται για περιοχές που δημιουργούνται ασύντακτα. Έτσι, συντελείται αντικατάσταση των δημοσίων χώρων συνάντησης των κατοίκων, με χώρους κατανάλωσης, δηλαδή οι κάτοικοι έχουν πλέον τη δυνατότητα να συναντηθούν μόνο σε χώρους όπως τα μεγάλα εμπορικά κέντρα. Η κοινωνική πόλωση που συνδέεται με τη διάχυση είναι σε ορισμένες πόλεις, τόσο εμφανής, που η έννοια «διπλή» πόλη χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαίρεση μεταξύ του εσωτερικού πυρήνα της πόλης και των προαστιακών περιχώρων (Σταυράκου, 2014). Τα κοινωνικά προβλήματα που αναφέρθηκαν δεν είναι γνώρισμα μόνο του κέντρου των πόλεων, καθώς αντιστοίχα προβλήματα εμφανίζονται και σε περιφερειακές περιοχές, όπου μεταπολεμικά συγκροτήματα και άλλα εγκαταλελειμμένα κτήρια επαναστεγάζουν μερικές από τις μειωνεκτικές αστικές ομάδες και αποτελούν την τοποθεσία για τα χαμηλότερης ποιότητας αστικά περιβάλλοντα.

Η διάρθρωση του αστικού χώρου φέρει τα αποτυπώματα των πολιτικών που εφαρμόζονται σε οικονομικό επίπεδο και αναπαράγει τις σχέσεις που αναπαράγονται και σε αυτό. Συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός της κοινωνίας σε τάξεις έχει και χωρική έκφραση (Μπαρτζώκα, 2016).



Μοντελοποίηση της Αστικής Εξέλιξης με τη χρήση μεθόδων Μηχανικής Μάθησης και GIS.  
Η περίπτωση της Αττικής



Εικόνα 5 Περιοχή του Χονγκ Κονγκ Πηγή: [www.artpeoplegallery.com](http://www.artpeoplegallery.com)

Σε ορισμένες πόλεις οι άνθρωποι κατοικούν σε υπερβολικά πυκνοκατοικιμένες περιοχές καθώς είναι ο μόνος τρόπος ζωής λόγω της περιορισμένης γης για ανάπτυξη. Το Χονγκ Κονγκ είναι ένα από αυτά.



Εικόνα 6 Hong Kong from above Πηγή: Color Splash, by architect Costas Spathis



Μερικοί άνθρωποι προσπαθούν να αναδιαμορφώσουν τις περιοχές της ίδιας της πόλης σε κάτι καλύτερο, ασφαλέστερο, καλύτερα προγραμματισμένο. Αυτό ονομάζεται αστική **ανανέωση**. Είναι εντυπωσιακή, η ιδέα της ανανέωσης τμημάτων της πόλης που είναι παλιά ή καταρρέουν, και για μερικούς ανθρώπους είναι πραγματικότητα. Μπορεί όμως να οδηγήσει σε εξευγενισμό, που σημαίνει ότι όταν αυτές οι περιοχές της πόλης βελτιωθούν, τείνουν να προσελκύουν μια πλουσιότερη κοινότητα, η οποία αυξάνει τις αξίες ιδιοκτησίας. Οι άνθρωποι που ζουν εκεί πριν από την ανασυγκρότηση συχνά εκδιώκονται, μη διαθέτοντας πλέον την αναγκαία οικονομική περιουσία. Αυτό συχνά οδηγεί στη δημιουργία μικρών κοινοτήτων με διαφορετικές ιδιότητες στο κέντρο της πόλης.

### **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**

Εξετάζοντας, στην συνέχεια την αστική διάχυση των πόλεων υπό ο πρίσμα της οικονομίας, διαπιστώνεται πως αυτή η μορφή ανάπτυξης της πόλης είναι στην πραγματικότητα πιο δαπανηρή, σε σχέση με την οργανωμένη ανάπτυξη (ΕΕΑ, 2006).

- Υψηλότερες δαπάνες για μετακινήσεις των κατοίκων.
- Υψηλότερες δαπάνες των επιχειρήσεων, ενδεχόμενως λόγω ανεπαρκούς συγκοινωνιακής υποδομής.
- Δαπάνες ανάπτυξης και επέκτασης των δικτύων κοινής ωφέλειας.

Ακόμα, η αστική διάχυση αναστέλλει την ανάπτυξη των δημόσιων μεταφορών και λύσεων βασιζόμενων στην ανάπτυξη των μαζικών μέσων μεταφοράς, καθώς και την πρόβλεψη εναλλακτικών επιλογών στις μεταφορές, οι οποίες είναι σημαντικές για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία του αστικού περιβάλλοντος (Lyons, 2003, Cameron et al., 2004). Είναι φανερό ότι εμποδίζει την διαμόρφωση μιας φιλοσοφίας που θα στηρίζεται στην αειφορία και σε μια βιώσιμη ανάπτυξη.

Πρέπει επίσης να συμπεριληφθεί ότι λόγω της διάχυσης των πόλεων και της μεταβολής των οικονομικών δραστηριοτήτων παρατηρείται εγκατάληψη περιοχών, κυρίως πρώην βιομηχανικών, τα τεμάχια γης των οποίων παραμένουν ανεκμετάλλευτα.

## 2.5 Διαχείριση του φαινομένου

Η αστική διάχυση αποτελεί ένα εξελισσόμενο φαινόμενο σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ δεν πρέπει να αμελείται το γεγονός πως αφενός σχετίζεται και επηρεάζει όλες τις δραστηριότητες και αφετέρου έχει πληθώρα άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η μελέτη του φαινομένου, η κατανόηση των αιτιών του και η ευρέση τρόπων αντιμετώπισης έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό την πολεοδομική κοινότητα. Έχουν γίνει πολλές μελέτες και έρευνες, κάποιες από αυτές εξετάζουν την υπάρχουσα κατάσταση των πόλεων και τα χαρακτηριστικά τους ενώ άλλες αναζητούν εναλλακτικές μορφές προσέγγισης.



Εικόνα 7 We are waiting for the city to come to us Πηγή: [www.followgreenliving.com](http://www.followgreenliving.com)

Η συνεχής αστικοποίηση και μεγέθυνση των πόλεων αποτελεί κοινή πρόκληση για τον χωρικό σχεδιασμό στον ευρωπαϊκό χώρο. Αν και οι ευρωπαϊκές πόλεις είναι δύο φορές πιο πυκνοδομημένες σε σχέση με τις πόλεις στην Αυστραλία και τέσσερις φορές σε σχέση με αυτές στην Αμερική, ο χώρος που αντιστοιχεί ανά άτομο στις πόλεις της Ευρώπης έχει υπερδιπλασιαστεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών. Ο ρυθμός κατανάλωσης της γης για αστικές χρήσεις υπερβαίνει κατά πολύ το ρυθμό αύξησης του πληθυσμού. Την τελευταία εικοσαετία, σε πολλές δυτικές και ανατολικές χώρες της Ευρώπης η έκταση της δομημένης επιφάνειας αυξήθηκε κατά 20%, ενώ ο πληθυσμός αυξήθηκε μόνο κατά 6%. (Γεμενετζή, 2014)

Το κατάλληλο μέσον για την αντιμετώπιση του φαινομένου είναι εκ των προτέρων ο πολεοδομικός σχεδιασμός. Τόσο ιστορικά, όσο και σήμερα, σκοπός του πολεοδομικού σχεδιασμού είναι η επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ της κοινωνικής ευημερίας, της οικονομικής αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής αειφορίας. Στον πυρήνα της διαδικασίας αυτής βρίσκεται ο σχεδιασμός και ο καθορισμός των χρήσεων γης. Οι Γιαννάκου, Ανδρικοπούλου, Καυκάλας και Πιτσιάβα (2007) αναφέρουν για το σχεδιασμό των χρήσεων γης πως: «αποσκοπεί στην διαχείριση της αστικής ανάπτυξης, της κατανομής των χρήσεων γης και των περιβαλλοντικών αλλαγών, καθώς επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε και διαχειριζόμαστε τη γη. Η αναζήτηση της βέλτιστης χωροθέτησης με την

παράλληλη εξισορρόπηση των αντικρουόμενων συμφερόντων αποτελεί το κεντρικό πολιτικό στοιχείο του σχεδιασμού των χρήσεων γης». Όπως αναφέρει ο Neuman (2005) μέσα από τον ορθό πολεοδομικό σχεδιασμό, πρέπει να ισορροπήσουν οι δύο διαφορετικές τάσεις οι οποίες όμως συνυπάρχουν και επιφέρουν τις ίδιες αρνητικές συνέπειες. Πρώτον, η μαζική μετατόπιση του κόσμου προς τις αστικές περιοχές και δεύτερον, η τάση αποκέντρωσης εντός των αστικών – μητροπολιτικών περιοχών (Πετρολέκας 2014).

## ΠΡΑΣΙΝΗ ΖΩΝΗ

Το περιβάλλον είναι το μέρος που όλοι συναντιόμαστε, που όλοι έχουμε αμοιβαίο ενδιαφέρον. Είναι το μόνο πράγμα που όλοι μας μοιραζόμαστε (Lady Bird Johnson).

Μία πρώτη προσπάθεια διαχείρισης της αστικής διάχυσης ξεκίνησε το 1930 στην Αγγλία



Εικόνα 8 Ποσοστό πράσινων χώρων σε πόλεις του κόσμου Πηγή: Sustainable Cities International Blog & World Cities Culture Forum, 2018

όπου εφαρμόστηκε η πράσινη ζώνη. Ορίζεται κατά τον Bo-sinTang (2007) ως «ζώνη γης γύρω από την πόλη, όπου η οικιστική ανάπτυξη είναι αυστηρά απαγορευμένη». Στην πράξη πρόκειται για μια ζώνη πρασίνου που εμποδίζει τη διάχυση της δόμησης στην περιοχή αυτή παρέχοντας τη δυνατότητα για διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Την τακτική αυτή υιοθέτησαν και άλλες χώρες της Ευρώπης, αλλά και οι ΗΠΑ όπου ονομάζεται ως greenspace ακόμα και ένα μικρό πάρκο εντός της πόλης.

Ο στόχος των πράσινων ζωνών είναι αρχικά η προστασία και η διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, απέναντι στην καταστροφή των δασικών και αγροτικών πόρων εξαιτίας της ανεξέλεγκτης οικιστικής ανάπτυξης και επέκτασης. Ακόμα παράλληλα με αυτά, οι πράσινες ζώνες στοχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο αστικό περιβάλλον, στην δυνατότητα πρόσβασης των κατοίκων σε φυσικό περιβάλλον για αναψυχή, αλλά και στην εξασφάλιση της συνέχειας των βιοτόπων. Μία από τις πρώτες προϋποθέσεις της ευτυχίας είναι ότι ο δεσμός μεταξύ ανθρώπου και φύσης δεν πρέπει να σπάσει (Leo Tolstoy).

Υπό κάποιες περιπτώσεις υπάρχει η περίπτωση η δημιουργία μιας πράσινης ζώνης να ωθήσει την ανάπτυξη αστικών περιοχών σε πιο απομακρυσμένες περιοχές από το κέντρο της πόλης, αυξάνοντας έτσι την ανεξέλεγκτη εξάπλωση της, καθώς και τη δημιουργία των “πόλεων δορυφόρων” (St. Paul Pioneer Press, 2007) (Αποστολίδου Ε, 2014).

### **ΣΥΜΠΑΓΗΣ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΗ ΠΟΛΗ**

Η Συμπαγής Πόλη (compact city) καλείται και πόλη των μικρών αποστάσεων και παρουσιάστηκε τη δεκαετία του 1990 (Arbuz, 2005). Πρόκειται για μια στρατηγική αστικού σχεδιασμού η οποία βασίζεται στις μικτές χρήσεις και παράλληλα προωθεί την υψηλή οικιστική πυκνότητα. Εξ αυτού προκύπτει πως υπερτερεί έναντι της άναρχης δόμησης και επιπλέον δεν απαιτεί εκτεταμένες συγκοινωνιακές υποδομές.

Σήμερα, οι έρευνες τείνουν στην προώθηση της συνεκτικότητας και στη δημιουργία υψηλής πυκνότητας αστικών διατάξεων, ως μοντέλο που προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τη βιώσιμη πόλη (Μπαρμπόπουλος κ.ά., 2005). Η Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζει και προωθεί το συγκεκριμένο μοντέλο, τόσο μέσω του «Πράσινου Βιβλίου για το Αστικό Περιβάλλον» (CEC, 1990), όσο και μέσω της έκθεσης «Προς μια θεματική στρατηγική για το αστικό περιβάλλον» (CEC, 2004), που αποτελούν ορισμένα βασικά κείμενα για τη χάραξη της πολιτικής της. Σημαντικό είναι ο ρόλος και της Θεματικής Στρατηγικής για το Αστικό Περιβάλλον (COM(2004)60) που περιέχει τις προτάσεις για τη διαμόρφωση της πολεοδομικής δομής.

Πράγματι, η συμπαγής πόλη θεωρείται λιγότερο ενεργοβόρα, δεδομένου τόσο του κατάλληλου μικροκλίματος που δημιουργείται, όσο και της βιώσιμης κινητικότητας που ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί (Βλαστός και Μηλάκης, 2006), των μικρών αποστάσεων, της ενσωμάτωσης και του εύρους του συστήματος δημόσιας συγκοινωνίας που συνήθως παρουσιάζεται σε αυτήν, όπως σημειώνει η Burton (Πορτοκαλίδης και Ζυγούρη, 2011).

Η συμπαγής (ή συνεκτική) πόλη θεωρείται περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον, είναι κοινωνικά δίκαιη και εξασφαλίζει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη για το συλλογικό συμφέρον. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το ΣΑΚΧ (Σχέδιο Ανάπτυξης του Κοινοτικού Χώρου) προβάλλει την ιδέα της συμπαγούς πόλης, ορίζοντάς την ως «πόλη των σύντομων διαδρομών». Όσον αφορά τον ελληνικό χωρικό σχεδιασμό, προτείνεται η προώθηση της αρχής της συμπαγούς πόλης σε όλα τα επίπεδα χωρικού σχεδιασμού, εκτιμώντας ότι θα βοηθήσει επιπλέον στη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και στην προστασία του τοπίου.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά της συμπαγούς πόλης, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι η πυκνότητα. Αυτή προσδιορίζεται σε ένα θεμελιώδες όριο, όσον αφορά την κατοικία και τις θέσεις απασχόλησης, πάνω από το οποίο η εξάρτηση από την ιδιωτική μηχανοκίνητη μετακίνηση περιορίζεται σημαντικά. Αυτό αποτελεί και ένα από τα πιο σημαντικά πλεονέκτηματά της συμπαγούς πόλης, το οποίο, από περιβαλλοντική άποψη, σημαίνει μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και μειωμένες εκπομπές αερίων ρύπων.

Γενικά, η συμπαγής πόλη προσδιορίζεται από: α) οριοθετημένη ανάπτυξη, β) υψηλή σχετικά πυκνότητα και γ) μικτές χρήσεις γης. Ο ορισμός της ως «πόλη των σύντομων διαδρομών» συνοψίζει τις παραπάνω αρχές, επισημαίνοντας ότι η πόλη πρέπει να διατηρηθεί σε ένα τέτοιο μέγεθος και να οργανωθεί πολεοδομικά με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τις ήπιες μορφές μετακίνησης και την ανάπτυξη των δημόσιων μεταφορών. Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η έννοια της εγγύτητας και της γειννίας έχει και κοινωνικά πλεονεκτήματα, καθώς δημιουργεί μια πόλη πιο ζωντανή, πιο ευχάριστη, πιο συνεκτική κοινωνικά. Ο σχεδιασμός της συμπαγούς πόλης πρέπει να θεωρηθεί περισσότερο ως μια



σειρά από διαδικασίες που σχετίζονται με την εσωτερική οργάνωση και λειτουργία της πόλης και ουσιαστικά έχουν άμεση σχέση με τον σχεδιασμό των μεταφορών και των χρήσεων γης. Οι βασικές αρχές ενός βιώσιμου πολεοδομικού σχεδιασμού που θα τροφοδοτήσει την ανάπτυξη και διαχείριση της συμπαγούς πόλης είναι οι εξής:

1. Συνεκτική οικιστική ανάπτυξη.
2. Μίξη των χρήσεων γης παράλληλα με τον ολοκληρωμένο πολεοδομικό και συγκοινωνιακό σχεδιασμό.
3. Εξασφάλιση και προστασία σημαντικών ανοιχτών και πράσινων χώρων.
4. Ενίσχυση των κέντρων των πόλεων και των λοιπών κεντρικών περιοχών.

Ειδικότερα, όσον αφορά τη συνεκτική οικιστική ανάπτυξη, βασικός στόχος είναι η συγκράτηση της οικιστικής ανάπτυξης στο εσωτερικό του υφιστάμενου αστικού ιστού. Η αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αποδοτικότερης χρήσης της γης. Η εκμετάλλευση των εγκαταλελειμμένων ή υποχρησιμοποιούμενων εκτάσεων της πόλης στις οποίες το φυσικό περιβάλλον έχει ήδη καταπατηθεί από αστικές υποδομές και χρήσεις, η επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση του κενού κτιριακού αποθέματος, η προσθήκη ή επέκταση σε υφιστάμενες αστικές δομές είναι τα πιο σημαντικά μέτρα στην κατεύθυνση της μεγαλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης των εκτάσεων. (Γεμενετζή, 2014)

## ΕΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ



Εικόνα 9 Προσομοίωση έξυπνης πόλης Πηγή: Γεωρκακόπουλος et. al, 2013

Η αστικοποίηση θέτει τόσο προκλήσεις όσο και ευκαιρίες για αειφόρο ανάπτυξη και περιβαλλοντική διαχείριση. (SEDAC)

Η έξυπνη πόλη ή έξυπνη ανάπτυξη είναι μία πολιτική αστικού σχεδιασμού η οποία προτείνεται επίσης ως λύση για την ανάσχεση της στικής διάχυσης. Είναι βασισμένη στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά με την συμπαγή πόλη. Οι 'έξυπνες πόλεις' δημιουργούνται από τη σύγκλιση δύο μεγάλων ρευμάτων της σύγχρονης σκέψης για την πόλη (Διμέλη, Πολυτεχνείο Κρήτης):

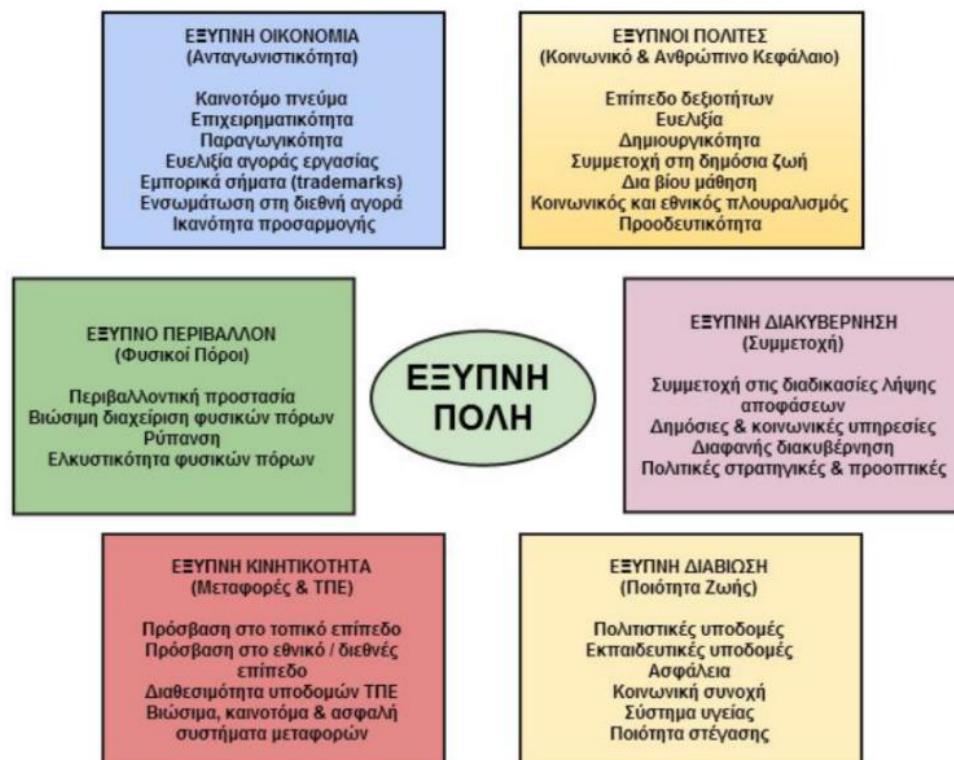
- αφενός του επαναπροσδιορισμού της πόλης μέσα από τις Τεχνολογίες Επικοινωνίας (ICT) (ΤΠΕ), την ψηφιακή δικτύωση και αναπαράστασή της, και
- αφετέρου της κατανόησης της πόλης ως περιβάλλοντος δημιουργικότητας και καινοτομίας.

Βασικό στοιχείο αυτών των προεγγίσεων είναι η συγκέντρωση της ανάπτυξης στο κέντρο της πόλης για να αποτραπεί η διάχυση.

Οι αρχές που καθορίζουν την έξυπνη ανάπτυξη διατυπώθηκαν από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ.

- Μίξη χρήσεων γης.
- Συμπαγής σχεδιασμός κτηρίων.
- Δημιουργία εύρους ευκαιριών και επιλογών κατοικίας.
- Δημιουργία αστικού περιβάλλοντος φιλικού στον πεζό.
- Απόδοση μιας μοναδικής έννοιας στην κοινότητα και στο χώρο.
- Διατήρηση ανοιχτών χώρων σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές και γεωργικές εκτάσεις
- Ενίσχυση και ανάπτυξη των υπαρχουσών κοινοτήτων.
- Μεγάλη ποικιλία μέσων μαζικής μεταφοράς.
- Συνεργασία των κοινοτήτων στη λήψη αποφάσεων για την ανάπτυξη (Bottom—up analysis).
- Δίκαιη και αποδοτική ανάπτυξη με ισοκατανομή του κόστους και των ωφελειών της ανάπτυξης.

Εκ πρώτης όψεως η Έξυπνη Ανάπτυξη έχει πολλά κοινά στοιχεία με τη Συμπαγή Πόλη όμως ο τελικός στόχος κάθε προσέγγισης διαφέρει. Έτσι, η Έξυπνη Ανάπτυξη στοχεύει σε μια πιο ισορροπημένη ανάπτυξη και όχι κατ' ανάγκη στη συμπαγή ανάπτυξη. Επιπλέον, το τρόπος επίτευξης του στόχου είναι διαφορετικός, καθώς η Έξυπνη Ανάπτυξη αποτελεί μια «Προσπάθεια συντονισμού δημόσιας και ιδιωτικής δράσης για Οικονομική ανάπτυξη, αποτροπή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως συμφόρηση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και μείωση σπατάλης δημόσιου χρήματος, που οφείλεται σε υποδομές στήριξης της αστικής εξάπλωσης»(Βασενχόφεν, 2008).



Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης Πηγή: Giffinger et. al. 2007

Παραδείγματα έξυπνων πόλεων είναι σε ευρωπαϊκό επίπεδο η πόλη της **Βαρκελώνης** και στον ελλαδικό χώρο η πόλη των **Τρικάλων**.

Η στρατηγική που ακολουθείται στο πλαίσιο του μετασχηματισμού της Βαρκελώνης σε μια έξυπνη πόλη δεν αποσκοπεί απλά στην υιοθέτηση τεχνολογιών αιχμής, αλλά επιδιώκει να την καταστήσει ένα 'ζωντανό οικοσύστημα' (living habitat), όπου οι νέες τεχνολογίες και η καινοτομία αποτελούν τα μέσα για: τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, την τόνωση της ανταγωνιστικότητας, τη δημιουργία νέων καναλιών επικοινωνίας, την πρόσβαση σε πληροφορία, καθώς και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των δημόσιων υπηρεσιών (Στρατηγέα και Παναγιωτοπούλου, 2014).

Τα Τρίκαλα είναι η πρώτη έξυπνη πόλη της χώρας και επί τρία συνεχή έτη στον κατάλογο των 21 πιο 'έξυπνων' πόλεων του κόσμου. Η πόλη ανέλαβε πρωτοβουλίες μετάβασης στη νέα ψηφιακή εποχή, με στόχο να επιλύσει τα έντονα προβλήματα που αντιμετώπιζε (οικονομική στασιμότητα, πληθυσμιακή αποψίλωση, υψηλά ποσοστά ανεργίας, χαμηλό εισόδημα, γεωγραφική απομόνωση, κ.λπ.) Έμφαση έχει δοθεί στη δημιουργία ενός κοινού οράματος, στην ενθάρρυνση της συμμετοχής πολιτών και επιχειρήσεων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων για την πόλη τους και στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου ανοιχτού περιβάλλοντος (Στρατηγέα και Παναγιωτοπούλου, 2014).

## ΝΕΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ

Στην παγκόσμια συνδιάσκεψη του Ρίο (1992), δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον σχεδιασμό της συμπαγούς πόλης μέσω της ενίσχυσης του ρόλου της γειτονιάς, της συνοικίας και του διαδρόμου (Αθανασόπουλος και Βλαστός, 2009). Οι τρεις τομείς που διαδραματίζουν κύριο ρόλο σε αυτήν την πρακτική είναι οι τομείς της οικονομίας, της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος. Τα οργανωτικά στοιχεία δηλαδή, ενός σχεδιασμού που έγινε γνωστός ως «**νέα πολεοδομία**» (Αναστασιάδης και Χατζηκοκόλη, 2012). Η «νέα πολεοδομία» φαίνεται να λειτουργεί συμπληρωματικά με την αειφόρο πολεοδομία, μιας και στοχεύει στην προώθηση της βιωσιμότητας (Αναστασιάδης και Χατζηκοκόλη, 2012), ενώ στην ίδια λογική κινούνται και άλλα κινήματα, όπως τα TrueUrbanism, HealthyCities και SmartGrowth, που δημιουργήθηκαν με την πεποίθηση πως η βιώσιμη ανάπτυξη οφείλει και πρέπει να είναι ο γενικός στόχος του πολεοδομικού σχεδιασμού (Παπαρηγορίου, 2007).

Το συγκεκριμένο μοντέλο, αστικού σχεδιασμού προτείνει επαναπροσδιορισμό του υφιστάμενου πλαισίου που αναφέρεται στην αστική διάχυση και την ανεξέλεγκτη αστική επέκταση των πόλεων.

Πρωθείται η δημιουργία συμπαγών κοινοτήτων, όπου οι μετακινήσεις γίνονται με τα πόδια και οι χρήσεις είναι μικτές. Περιλαμβάνονται χώροι στέγασης, εμπορικά καταστήματα, δημόσιοι χώροι, χώροι εκπαίδευσης, δημόσιες υπηρεσίες, διασκέδαση και εργασία.

Οι αρχές της Νέας Πολεοδομίας είναι συνοπτικά:

- Μίξη χρήσεων γης.
- Δυνατότητα μετακίνησης με τα πόδια.
- Αυξημένη πυκνότητα.
- Έξυπνες μεταφορικές υποδομές.
- Αρχιτεκτονική ποιότητα και αστικός σχεδιασμός.
- Παραδοσιακή δομή γειτονιάς.





Εικόνα 11 Φιλικές πόλεις για τους πεζούς Πηγή: [www.wired.com](http://www.wired.com)

Έξυπνες και συμπαγείς πόλεις προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους ζωής και είναι πιο φιλικές προς τους πεζούς.

Αυτό που λείπει είναι τα καινοτόμα σχέδια για μικρά μέρη που αναγνωρίζουν ότι οι πόλεις αναπτύσσονται αργά, σταδιακά. Οι μεγάλες και εντυπωσιακές λύσεις αποτυγχάνουν παντού **(Dillon, 1989)**.

Μια καλή πόλη είναι σαν ένα καλό πάρτι, οι άνθρωποι μένουν περισσότερο από ό, τι είναι απαραίτητο, γιατί διασκεδάζουν **(Jan Gehl)**.

Πρώτα ζωή, έπειτα χώροι, έπειτα κτίρια - το αντίστροφο δεν λειτουργεί ποτέ **(Jan Gehl)**.

Το πιο σημαντικό ψυχολογικό αποτέλεσμα μιας πόλης είναι πώς μετριάζει τις σχέσεις μας με άλλους ανθρώπους **(Charles Montgomery)**.

Καθώς η διαδικασία της αστικής διάχυσης είναι μια δυναμική διεργασία, η οποία εξελίσσεται μέσα στο χώρο και το χρόνο, για να υπάρξει ένα λειτουργικό σχήμα διαχείρισης της, είναι αναγκαίο να βρεθεί ένας τρόπος, προκειμένου να περιγραφούν οι ρυθμοί και τα πρότυπα των μεταβολών αυτών. Η εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων, μέσω των οποίων είναι δυνατή η προσομοίωση, αλλά και η πρόγνωση τόσο της δομής, όσο και της πολυπλοκότητας ανάλογων φαινομένων, παρέχει ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση των χωρικών προτύπων και τάσεων της ανάπτυξης, τόσο για τις πόλεις μεταξύ τους, όσο και για τις εσωτερικές διεργασίες που συντελούνται εντός των ορίων τους (Σταυράκου, 2014).

### 3. Αστικά Μοντέλα

#### 3.1 Ρόλος Αστικών Μοντέλων

Η φυσική μορφή των πόλεων είναι το τελικό αποτέλεσμα πολυάριθμων κοινωνικών και οικονομικών διαδικασιών, οι οποίες περιορίζονται και σχηματοποιούνται από την γεωμετρία του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (Batty & Longley, 1994)

Ωστόσο η πολυπλοκότητα που παρατηρείται σήμερα στις περιαστικές περιοχές ως προς την κατανομή των χρήσεων γης και του πληθυσμού, αλλά και ο δυναμικός χαρακτήρας των μεταβολών, θέτουν την ανάγκη για ένα νέο πλαίσιο ανάλυσης και ερμηνείας του φαινομένου.

Οι αστικές μελέτες μοντελοποίησης θεωρούνται επί του παρόντος βασικό συστατικό για πολλές πολύπλοκες περιβαλλοντικές προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, τα μοντέλα αστικής ανάπτυξης μπορούν να βοηθήσουν σενάρια προσαρμογής και μετριασμού σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων εκπομπών αέρα, εδάφους και αποβλήτων που συμβαίνουν σε μεγάλες πόλεις. Επιπλέον, λόγω της αυξανόμενης τάσης της αστικοποίησης και των πιθανών περιβαλλοντικών συνεπειών, το μοντέλο αστικής ανάπτυξης **φαίνεται να έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στον αστικό σχεδιασμό βοηθώντας στις αποφάσεις που σχετίζονται με την αειφόρο αστική ανάπτυξη** (Δ. Τριαντακωνσταντής, Γ. Μουντράκης, 2012).

Με τα μοντέλα αστικής ανάπτυξης μπορούμε όχι μόνο να προβλέψουμε εκτιμήσεις-εικόνες για το μέλλον ενός συστήματος, αλλά να ανακαλύψουμε και τις δομές και τους μηχανισμούς του συστήματος (Berghlund, 2014), είναι λοιπόν ιδιαίτερα χρήσιμα στην διερεύνηση και κατανόηση αστικών φαινομένων.

Τα μοντέλα πρόβλεψης της αστικής ανάπτυξης έχουν μελετηθεί εκτενώς, με τον πρωταρχικό στόχο να βοηθήσουν στη βιώσιμη διαχείριση των αστικών κέντρων. Παρά την εκτεταμένη έρευνα, αυτά τα μοντέλα δεν περιλαμβάνονται συχνά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Σύμφωνα με τον (Τριαντακωνσταντή, 2012), τα μοντέλα αστικής ανάπτυξης αναπτύχθηκαν με βάση δύο μεγάλα αναλυτικά ζητήματα χωρικής ανάλυσης: χωρική αυτοσυσχέτιση και χωρική ετερογένεια. Η χωρική αυτοσυσχέτιση αναφέρεται στη χωρική μεταβλητότητα μιας κινητήριας δύναμης, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της Γεωγραφίας, «Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things» «Όλα τα πράγματα συνδέονται μεταξύ τους αλλά τα κοντινά συνδέονται περισσότερο απ' ό,τι τα μακρινά» Tobler's Law (1970). Για παράδειγμα αναμένουμε γειτονικές περιοχές να έχουν παρόμοιο υψόμετρο και γειτονικές κατοικίες παρόμοια τιμή ανά τ.μ. Έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί της χωρικής αυτοσυσχέτισης (Getis, 2008), αλλά ένας απλός ορισμός είναι ότι αποτελεί τη συσχέτιση μιας μεταβλητής με τον εαυτό της σε έναν γεωαναφερόμενο χώρο, αφού έχει οριστεί κάποιο μέτρο γεωγραφικής εγγύτητας μεταξύ των γεωγραφικών μονάδων της περιοχής μελέτης (Ηλιοπούλου, 2015). Η χωρική ετερογένεια σε ένα αστικό περιβάλλον αναφέρεται στην ακανόνιστη κατανομή των αστικών οικισμών και ως εκ τούτου, η αστικοποίηση παράγει χωρικά πρότυπα.

### 3.2 Πολυπλοκότητα Συστημάτων

Σε ότι αφορά την έννοια του συστήματος, αυτό ορίζεται ως μία συγκέντρωση αντικειμένων, κανόνων ή γεγονότων, τα οποία ενώνονται μέσω κάποιας μορφής αλληλεπίδρασης ή ανεξαρτησίας σε ένα οργανωμένο σύνολο (Roe, G. N. Soulis et al. 1992). Αντίστοιχα, ως πολύπλοκο σύστημα ορίζεται το σύστημα, για το οποίο είναι δύσκολο έως αδύνατο να περιοριστεί η περιγραφή του σε έναν μεμονωμένο αριθμό παραμέτρων ή να χαρακτηριστούν οι μεταβλητές του χωρίς να ενυπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν σημαντικές λειτουργικές του ιδιότητες. Συνήθως, ένα σύστημα θεωρείται ότι παρουσιάζει πολύπλοκη συμπεριφορά, όταν τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος αλληλεπιδρούν σε μια μη-γραμμική μορφή. Έτσι, τα πολύπλοκα συστήματα παρουσιάζουν συμπεριφορά, η οποία δύσκολα δύναται να προβλεφθεί, ακόμα και σε περιπτώσεις που είναι πλήρως γνωστά όλα τα στοιχεία τους (Sun, 2003).

Η πόλη μπορεί να θεωρηθεί ένα πολύπλοκο κοινωνικό, οικονομικό και χωρικό σύστημα. Ο Wu (2000) θεωρεί ένα αστικό σύστημα ως ένα πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από δύο πολύπλοκες διαδικασίες, αυτήν της αυθόρμητης ανάπτυξης και αυτήν της αυτοοργάνωσης. Συνεπώς, οι πόλεις και τα αστικά συστήματα ειδικότερα, είναι το χωρικό και χρονικό αποτέλεσμα όλων των επιρροών και αλληλεπιδράσεων που συμβάλλουν στη διαμόρφωσή τους. Η χρήση μοντέλων προκειμένου να μελετηθεί ο τρόπος που ανακύπτουν οι διάφορες αλληλεπιδράσεις εντός των αστικών συστημάτων κρίνεται αναγκαία (Batty, 1995), καθώς η μοντελοποίηση παρέχει προσομοιώσεις και προβολές στο μέλλον υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα μοντέλα αναπαριστούν και προσομοιώνουν την πολυπλοκότητα και την δυναμική εξέλιξη.

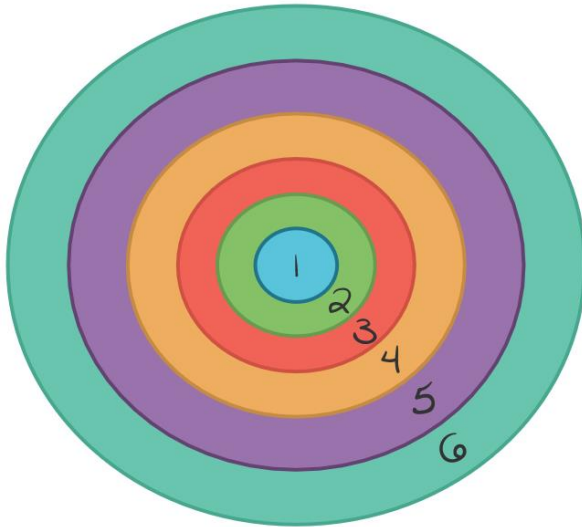
### 3.3 Θεωρητικές Προσεγγίσεις

Ακολουθούν τρία μοντέλα αστικής ανάπτυξης που αναπτύχθηκαν από αστικούς κοινωνιολόγους στις ΗΠΑ (<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth>).

Γενικά, μια πόλη μεγαλώνει από το κέντρο και προς τα έξω. Στο **μοντέλο ομόκεντρων ζωνών**, του Burgess (1925).

Η Ζώνη 1 είναι η κεντρική επιχειρηματική περιοχή (CBD). Η Ζώνη 2 είναι μια μεταβατική περιοχή που περιέχει κατοικίες χαμηλής ποιότητας και κακόφημες περιοχές. Η Ζώνη 3 είναι η περιοχή που έχουν μετακομίσει οι εργαζόμενοι για να ξεφύγουν από τη μεταβατική Ζώνη 2, αλλά διατηρούν εύκολη πρόσβαση στην εργασία τους. Η Ζώνη 4 περιέχει πιο ακριβά διαμερίσματα, ξενοδοχεία, μονοκατοικίες, κ.λπ. Η Ζώνη 10 αποτελείται από προάστια ή δορυφορικές πόλεις που έχουν εμφανιστεί γύρω από τις διαδρομές μεταφοράς. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας πόλης είναι το Σικάγο, που όπως και οι περισσότερες παραδοσιακές πόλεις των ΗΠΑ, έχει σαφείς κεντρικές επιχειρηματικές περιοχές. Καθώς όμως οι μεταφορές έγιναν πιο ανεπτυγμένες, οι «ζώνες» έχουν γίνει λιγότερο εμφανείς. Το Λος Άντζελες αποτελεί παράδειγμα πόλης χωρίς σαφείς «ζώνες», λόγω της υψηλής του χωρικής εξάπλωσης.

## Concentric Zone Model

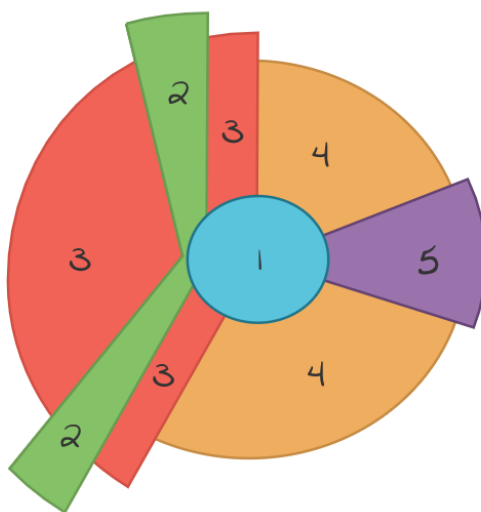


ΥΠΟΜΝΗΜΑ
1.Κεντρική επιχειρηματική περιοχή
2.Χονδρική και ελαφριά κατασκευή
3.Κατοικίες χαμηλής κατηγορίας
4.Κατοικίες μεσαίας κατηγορίας
5.Κατοικίες υψηλού επιπέδου
6.Βαριά βιομηχανία
7.Απομακρυσμένη επιχειρηματική περιοχή
8.Κατοικημένο προάστιο
9.Βιομηχανικό προάστιο
10.Ζώνη μετακινήσεων

Σχήμα 2 Μοντέλο Ομόκεντρων Ζωνών Πηγή:<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth>

Το **μοντέλο τομέα** του Hoyt (1939) είναι μια ενημερωμένη έκδοση του μοντέλου ομόκεντρης ζώνης. Οι ομόκεντρες ζώνες μπορούν να περιέχουν διαφορετικούς τομείς, έναν όπου ζουν οι άνθρωποι της εργατικής τάξης, έναν άλλο όπου βρίσκονται ακριβά σπίτια και έναν άλλο που χαρακτηρίζεται από τις επιχειρήσεις κ.λπ., όλοι ανταγωνίζονται για την ίδια γη. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη τις εξελίξεις στις μεταφορές και τις μετακινήσεις. Οι πόλεις επεκτείνονται προς τα έξω και κατά μήκος των σιδηροδρόμων, των αυτοκινητοδρόμων και των υδάτινων γραμμικών στοιχείων. Οικογένειες χαμηλότερου εισοδήματος βρίσκονται δίπλα σε σιδηροδρόμους ή συνορεύουν με τον κατασκευαστικό και βιομηχανικό τομέα. Το Σικάγο σήμερα είναι πιο κοντά σε αυτό το μοντέλο από το αρχικό μοντέλο ομόκεντρης ζώνης. Το Κάλγκαρι στον Καναδά είναι επίσης ένα άλλο παράδειγμα μιας πόλης τομειακού μοντέλου.

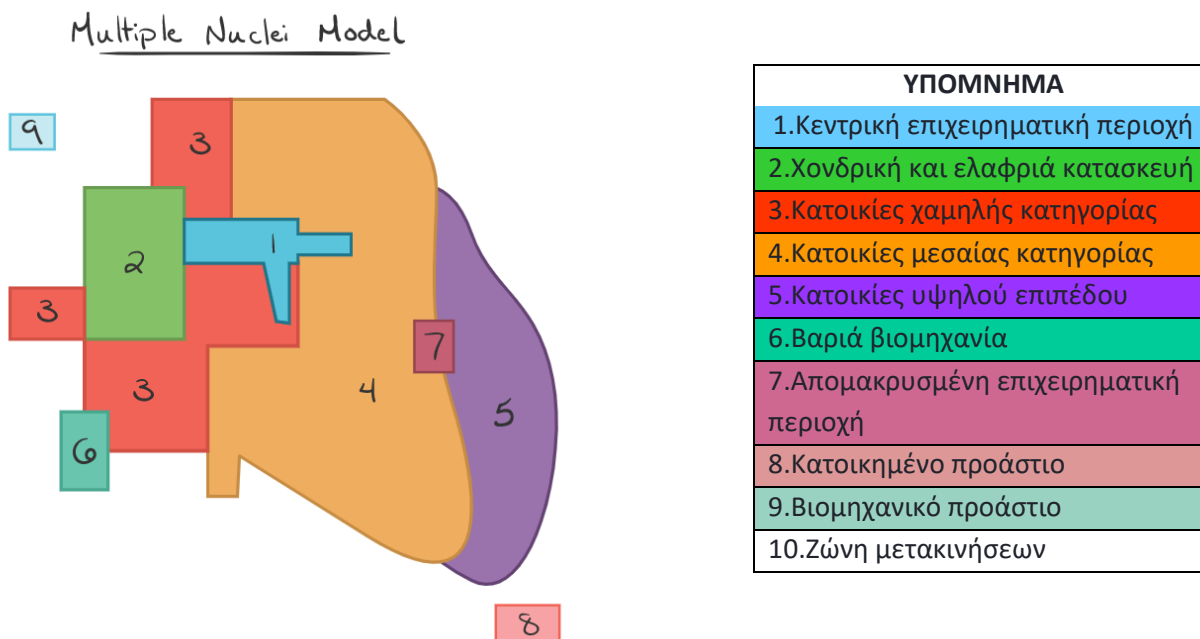
## Sector Model



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
1.Κεντρική επιχειρηματική περιοχή
2.Χονδρική και ελαφριά κατασκευή
3.Κατοικίες χαμηλής κατηγορίας
4.Κατοικίες μεσαίας κατηγορίας
5.Κατοικίες υψηλού επιπέδου
6.Βαριά βιομηχανία
7.Απομακρυσμένη επιχειρηματική περιοχή
8.Κατοικημένο προάστιο
9.Βιομηχανικό προάστιο
10.Ζώνη μετακινήσεων

Σχήμα 3 Τομειακό Μοντέλο Πηγή:<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth>

Σε ένα **μοντέλο πολλαπλών πυρήνων** των Harris και Ullmann (1945), μια πόλη μπορεί να έχει πολλά κέντρα «πυρήνων». Ακόμα κι αν μια πόλη ξεκίνησε με ένα CBD, μπορεί ακόμα να αναπτύξει πολλές μικρότερες επιχειρηματικές περιοχές. Αυτό το μοντέλο παρατηρείται σήμερα σε πολλές μεγάλες πόλεις. Για παράδειγμα, η Βομβάη και η Σαγκάη είναι και τα δύο παραδείγματα πολυπυρηνικών πόλεων. Κάθε πυρήνας σε αυτές τις πόλεις περιέχει μια εξειδικευμένη δραστηριότητα - όπως εστιατόρια με γρήγορο φαγητό ή μία εμπορική συνοικία. Οι περιοχές με παρόμοιες δραστηριότητες συγκεντρώνονται για να προσελκύσουν καταναλωτές ή λόγω της κοινής χρήσης γης στις παρακείμενες περιοχές.



Σχήμα 4 Μοντέλο Πολλαπλών Πυρήνων Πηγή:<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth>

Δεδομένου ότι οι περισσότερες θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τα αστικά μοντέλα θεωρούν την αστική ανάπτυξη ως το αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιλογών των ατόμων και των κοινωνικών διαδικασιών, τείνουν να παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες. Έτσι, τα περισσότερα αστικά μοντέλα μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις παρακάτω θεωρητικές προσεγγίσεις (Liu, 2008).

- Η **οικολογική προσέγγιση** (Urban Ecological Approach), η οποία είναι θεμελιωμένη στην πεποίθηση ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά διέπεται από αρχές οικολογικού περιεχομένου, όπως για παράδειγμα ο ανταγωνισμός, η διαδοχή και η κυριαρχία. Σε αντιπαράθεση με την οικολογία της χλωρίδας, έτσι και η πιο δυναμική ανθρώπινη ομάδα είναι αυτή η οποία θα επιτύχει την εξασφάλιση της πλεονεκτικότερης θέσης σε ένα αστικό περιβάλλον με δεδομένα χαρακτηριστικά. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εξασφάλιση καλύτερης περιοχής για οικιστικούς σκοπούς.

- Η **κοινωνική φυσική προσέγγιση** (Social Physical Approach) βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου και του χώρου στον οποίο κατοικεί. Η αρχική ανάπτυξη αυτής της προσέγγισης είχε μια άμεση αναλογία με τη φυσική. Έτσι, κάνει χρήση του βαρυτικού νόμου του Νεύτωνα ως ένα φυσικό ανάλογο της αλληλεπίδρασης μεταξύ περιοχών σε κοινωνικό επίπεδο. Αν και η κοινωνικοφυσική προσέγγιση είχε ευρεία εφαρμογή σε μοντέλα αστικού σχεδιασμού, τα μοντέλα θεμελιωνόταν στην έννοια της γενίκευσης, έδιναν μεγαλύτερη βαρύτητα στην ομαδική και όχι στην ατομική συμπεριφορά χάνοντας έτσι το περιθώριο διερεύνησης σημαντικών, αλλά μη ποσοτικών παραγόντων. Επιπλέον, εφόσον τα προαναφερθέντα μοντέλα στηρίζονταν σε παραδοχές ανάλογες των φυσικών θεωριών, ως εκ τούτου η θεωρητική τους βάση είχε αδυναμίες.
- Η **οικονομική ισορροπίας ή νεοκλασική προσέγγιση** (Neoclassical Approach) έχει καταγωγή από τις πλέον παραδοσιακές θεωρίες στην επιστήμη της οικονομίας. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην αντίληψη πως η αστική ανάπτυξη ως διαδικασία ουσιαστικά θεωρείται ένα οικονομικό φαινόμενο καθοδηγούμενο εκ των μηχανισμών των αγορών και των φυσικών δυνάμεων του ανταγωνισμού μεταξύ οικονομικών δραστηριοτήτων, αλλά και κοινωνικών ομάδων εντός μιας αστικής περιοχής. Παρ' όλα αυτά εξαιτίας του γεγονότος ότι αγνοήθηκε η επίδραση στην ανθρώπινη συμπεριφορά όσον αφορά στην αστική ανάπτυξη και τη διαδικασία δημιουργίας προτύπων, η προσέγγιση αυτή δέχθηκε έντονη κριτική από μέρους των θεωρητικών της συμπεριφορικής προσέγγισης.
- Η ανάπτυξη της **προσέγγισης συμπεριφοράς** (Behavioral Approach) προέκυψε εξαιτίας του γεγονότος ότι ασκήθηκε κριτική στην αστική οικολογική και νεοκλασική προσέγγιση σχετικά με την επιφανειακή προσέγγιση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Έτσι, η συμπεριφορική προσέγγιση έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην ατομική συμπεριφορά, τον τρόπο με τον οποία ο κάθε κάτοικος προσεγγίζει και αλληλεπιδρά με το αστικό περιβάλλον, καθώς και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων στο άτομο. Όμως, σε αυτήν την προσέγγιση δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ατομική συμπεριφορά και όχι σε αυτή της ομάδας και ως εκ τούτου δέχθηκε ιδιαίτερη αμφισβήτηση.
- Η **συστημική προσέγγιση** (Systems Approach) εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960 βασιζόμενη στη γενική θεωρία συστημάτων. Βασίστηκε στις έννοιες της γενικής θεωρίας συστημάτων. Η συστημική προσέγγιση παρουσίασε στους ερευνητές ένα τρόπο κατασκευής μοντέλων πέρα από τις απλές σχέσεις αίτιο – αποτέλεσμα ή ερέθισμα – απάντηση. Γι αυτόν τον λόγο τα μοντέλα αυτά είναι ευρείας αποδοχής ιδίως για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των αστικών συστημάτων και την πρόβλεψη μελλοντικής αστικής ανάπτυξης.



### 3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης

#### Κυψελοειδή Αυτόματα

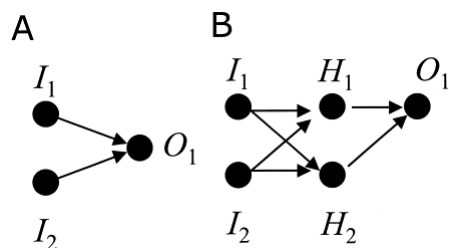
Πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με βάση τα κυτταρικά αυτόματα για την προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης από τις τελευταίες δεκαετίες. Η CA είναι διακριτά συστήματα δυναμικής, που αντιπροσωπεύονται από ένα πλέγμα κελιών, όπου η κατάσταση κάθε κελιού εξαρτάται από το κελί και τους γείτονες της προηγούμενης κατάστασής του, σύμφωνα με ορισμένους κανόνες μετάβασης. Πολλές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιήσει CA για μοντελοποίηση αστικής ανάπτυξης. Ορισμένοι περιορισμοί της CA στην αστική προσομοίωση περιλαμβάνουν τη χωρική διάσταση, όπου οι παγκόσμιοι κανόνες μετάβασης δεν είναι κατάλληλοι για τη μοντελοποίηση του κυτταρικού χώρου. Επιπλέον, η κανονικότητα των γειτονιών είναι ακατάλληλη, επειδή οι γειτονιές πρέπει να περιγράφονται με διαφορετικά σχήματα και μεγέθη (Dimitrios P., 2012). Το 2012 θεωρήθηκαν τα πιο δημοφιλή μοντέλα αστικής πρόβλεψης σε μελέτη αναμέσα σε 156 εργασίες από τους (Triantakonstantis and Mountrakis, 2012).

1. Το κύτταρο (*The cell*) αποτελεί το χώρο μέσα στον οποίο υπάρχει και εξελίσσεται ένα ΚΑ.
2. Η κατάσταση (*The state*) καθορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος και αφορά στον αριθμό των πιθανών καταστάσεων που μπορεί να λάβει ένα κελί, ο οποίος τυπικά είναι πεπερασμένος.
3. Η γειτονιά (*The neighbourhood*) αποτελείται από ένα σύνολο κελιών, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, εξαιτίας του ότι εφάπτονται.
4. Οι κανόνες μετάβασης (*The transition rules*) υπαγορεύουν ουσιαστικά τη μεταβολή της κατάστασης των κελιών μέσα στο χρόνο.
5. Ο χρόνος (*time*), δεδομένου ότι κάθε μετάβαση αντιπροσωπεύει το πέρας συγκεκριμένου χρόνου, εντός του οποίου καθορίζεται η χρονική του διάσταση, όπως για παράδειγμα ένα έτος, ανά μετάβαση.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα Κ.Α με τα πιο γνωστά να είναι τα μοντέλα SLEUTH που δέχονται σαν δεδομένα την κλίση (Slope), χρήσεις γης (Land use), εξαιρούμενες περιοχές (Excluded), αστική επέκταση (Urban), οδικό δίκτυο (Transportation) και σκίαση ανάγλυφου (Hillshade) και από τα αρχικά αυτών των δεδομένων παίρνουν και το όνομά τους.

#### Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα ΤΝΔ είναι ισχυρά εργαλεία που χρησιμοποιούν μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης για τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συμπεριφορών και προτύπων. Τα ΤΝΔ χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση προτύπων σε μια ποικιλία κλάδων. Αρχικά αναπτύχθηκαν για να μοντελοποιήσουν το διασυνδεδεμένο σύστημα νευρώνων του εγκεφάλου, έτσι ώστε οι υπολογιστές να μπορούν να μιμηθούν την ικανότητα του εγκεφάλου να ταξινομεί μοτίβα και να μαθαίνουν από δοκιμές και σφάλματα, παρατηρώντας έτσι τις σχέσεις στα δεδομένα. Ο Rosenblatt (1958) πιστώνεται με την ανάπτυξη ενός από τα πρώτα τεχνητά νευρικά δίκτυα όταν δημιούργησε το «perceptron». Το perceptron αποτελείται από έναν μόνο κόμβο, ο οποίος λαμβάνει σταθμισμένες εισόδους και κατώτατα όρια των αποτελεσμάτων σύμφωνα με έναν καθορισμένο κανόνα. Αυτός ο τύπος απλού νευρικού δικτύου είναι ικανός να ταξινομεί γραμμικά, διαχωρίσιμα δεδομένα και να εκτελεί γραμμικές λειτουργίες.



Σχήμα 5 Ένα απλό perceptron (A) και ένα multi-layer perceptron (B) που απεικονίζει επίπεδα εισόδου, κρυμμένους κόμβους και επίπεδα εξόδου. Πηγή: Pijanowski et al., 2002

Οι αλγόριθμοι ΤΝΔ υπολογίζουν βάρη για τιμές εισόδου, κόμβους επιπέδου εισόδου, κόμβους κρυφών επιπέδων και κόμβους επιπέδου εξόδου εισάγοντας την είσοδο με τρόπο προώθησης τροφοδοσίας, ο οποίος διαδίδεται μέσω του κρυφού στρώματος και του επιπέδου εξόδου. Τα σήματα διαδίδονται από κόμβο σε κόμβο και τροποποιούνται από βάρη που σχετίζονται με κάθε σύνδεση. Ο κόμβος λήψης αθροίζει τις σταθμισμένες εισόδους από όλους τους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό από το προηγούμενο επίπεδο. Η έξοδος αυτού του κόμβου υπολογίζεται στη συνέχεια ως συνάρτηση της εισόδου του που ονομάζεται «λειτουργία ενεργοποίησης». Τα δεδομένα μετακινούνται προς τα εμπρός από κόμβο σε κόμβο με πολλαπλές σταθμισμένες συνόψεις που εμφανίζονται πριν φτάσουν στο επίπεδο εξόδου. Τα βάρη σε ένα ΤΝΔ προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο εκπαίδευσης (Pijanowski et al., 2002).

Το νευρωνικό δίκτυο πολλαπλών επιπέδων perceptron (MLP) που περιγράφεται από τους Rumelhart, Hinton και Williams (1986) είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ΤΝΔ. Το MLP αποτελείται από τρία επίπεδα: είσοδο, κρυφό και έξοδο έτσι μπορεί να προσδιορίσει σχέσεις που δεν είναι γραμμικής φύσης.

Ένα μοντέλο μετασχηματισμού γης με βάση το GIS - LTM ( Pijanowski, Gage, Long, & Cooper, 2000 ) αναπτύχθηκε για να προβλέψει την αλλαγή της χρήσης γης σε μεγάλες περιοχές. Αυτό το μοντέλο μπορεί να διαμορφωθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιεί μια ποικιλία κοινωνικοοικονομικών, πολιτικών και περιβαλλοντικών εισροών.

Το μοντέλο ART-MMAP χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και την πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αστική ανάπτυξη όπως οδικό δίκτυο, χρήσεις γης και τοπογραφία χρησιμοποιήθηκαν άμεσα ως εισοδοί στο μοντέλο του νευρικού δικτύου για βαθμονόμηση μοντέλου (Liu and Seto, 2008).

### Μοντελοποίηση FRACTAL

Η γεωμετρία φράκταλ έχει χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση αστικής ανάπτυξης. Η κλασική ευκλείδεια γεωμετρία είναι ανεπαρκής για να περιγράψει τα χωροχρονικά πρότυπα στη φύση, έτσι ο BB Mandelbrot το 1983 εισήγαγε τη γεωμετρία του φράκταλ και από τότε παρατηρήθηκε μια ταχεία επέκταση των φράκταλ σε πολλά επιστημονικά πεδία. Οι πόλεις μπορούν να θεωρηθούν ως αντικείμενα fractal, όπου η αλληλεπίδραση διαφορετικών χωρικών συστατικών μπορεί να περιγραφεί από μη γραμμικές σχέσεις. Η θεωρία του φράκταλ ασχολείται με τη μη γραμμικότητα της χωρικής δομικής πολυπλοκότητας, υποδεικνύοντας ότι η αστική ανάπτυξη συμμορφώνεται με μια πολυεπίπεδη χωρική αυτο-οργάνωση. Το αστικό περιβάλλον έχει απροσδόκητη συμπεριφορά, όταν ορισμένες περιοχές είναι απομονωμένες και εξετάζονται ξεχωριστά (Triantakoustantis and Mountrakis, 2012). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης fractal είναι η εργασία του Δ. Τριαντακωνσαντή, «Μοντελοποίηση πρόβλεψης αστικής ανάπτυξης με χρήση φράκταλ και θεωρία χάους», στο Open Journal of Civil Engineering, το 2012.



### **Χωρική παλινδρόμηση**

Οι χωρικές στατιστικές έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μοντέλα αστικής ανάπτυξης. Η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να υπολογιστεί από ανεξάρτητες μεταβλητές, χρησιμοποιώντας γραμμική ή πολλαπλή παλινδρόμηση και λογιστική παλινδρόμηση. Στη λογιστική παλινδρόμηση, η εξαρτώμενη μεταβλητή προβλέπει την παρουσία ή την απουσία ενός χαρακτηριστικού. Σε περίπτωση χωρικής αυτοσυσχέτισης, ένας όρος αυτόματης μεταβλητότητας, που καταγράφει τη χωρική μεταβλητότητα της μεταβλητής απόκρισης, προστίθεται στην εξίσωση παλινδρόμησης. Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό της αστικής ανάπτυξης είναι η χωρική ετερογένεια. Τα τοπικά μοντέλα αντί για ένα παγκόσμιο μοντέλο πρέπει να εφαρμόζονται σε περιοχές με διαφορετικά πρότυπα αστικής ανάπτυξης (Dimitrios P., 2012).

Η χωρική παλινδρόμηση (spatial regression) αποτελεί την προσαρμογή του κλασικού μοντέλου της παλινδρόμησης για την ανάλυση χωρικών δεδομένων. Στηρίζεται στην έννοια της χωρικής αυτοσυσχέτισης και επιλύεται σε περιβάλλον GIS. Αποτελεί μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στη Γεωγραφική Ανάλυση και θεωρείται σημαντική καινοτομία στην ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων. Τα κλασικά μοντέλα παλινδρόμησης δεν λαμβάνουν υπόψη τη γεωγραφική διάσταση των φαινομένων, ότι δηλαδή η ανάλυση γίνεται σε γεωγραφικές περιοχές ή σημεία που γειτνιάζουν μεταξύ τους, και λόγω της συνέχειας του γεωγραφικού χώρου οι τιμές γειτονικών περιοχών είναι αναμενόμενο να έχουν ομοιότητες. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές παλινδρόμησης που λαμβάνουν υπόψη την χωρική αυτοσυσχέτιση και τη δομή του γεωγραφικού χώρου και έχουν οδηγήσει σε μια οικογένεια μοντέλων χωρικής παλινδρόμησης (de Smith, Goodchild, & Longley, 2015).

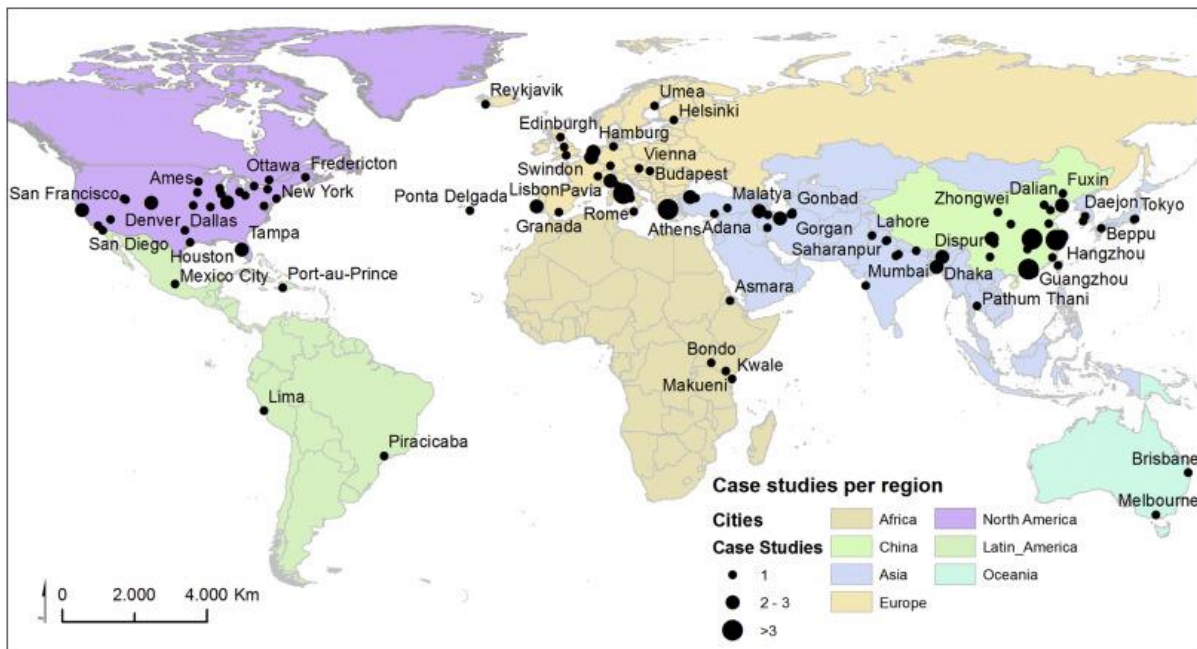
### **Μοντελοποίηση βάσει πρακτόρων**

Μοντέλα πρακτόρων και πολλαπλών πρακτόρων (Agents and Multi - Agents Models): Είναι μια κατηγορία υπολογιστικών μοντέλων που προσομοιώνουν τις ενέργειες και τις αλληλεπιδράσεις των αυτόνομων πρακτόρων, δηλαδή μεμονωμένων ή συλλεκτικών οντοτήτων όπως οργανισμοί ή ομάδες με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους για το σύστημα στο σύνολό του. Η ιδέα των μοντέλων πρακτόρων αναπτύχθηκε ως έννοια στα τέλη του '40, αλλά εξαιτίας της υπολογιστικής απαίτησης δεν έγινε ευρέως γνωστή έως το '90. Έχουν σχεδιαστεί ως μια συλλογή της αλληλεπίδρασης των αυτόνομων πρακτόρων, καθένας από τους οποίους έχει τις δικές του ικανότητες και στόχους, αλλά μαζί συσχετίζονται με ένα κοινό περιβάλλον. Ο τύπος αυτών των μοντέλων λειτουργεί με τις ίδιες αρχές όπως τα ΚΑ μοντέλα, με κάθε πράκτορα να θεωρείται ως ένα μεμονωμένο αυτόνομο πράκτορα-αυτόματο (Torrens, 2003). Οι πράκτορες είναι αυτόνομοι υπό την έννοια ότι έχουν την ικανότητα να προβαίνουν σε ανεξάρτητες δράσεις, οι οποίες ορίζονται μέσω της επιτυχίας σκοπών και στόχων, ενώ η επίδρασή τους στο περιβάλλον πραγματοποιείται σε διάφορες κλίμακες (Niazi, Muaz, Hussain and Amir, 2011). Ένα άλλο μοντέλο πολλαπλών πρακτόρων εφαρμόζεται από τους H. Zhang, Y. Zeng, L. Bian και X. Yu, το 2010, «Μοντελοποίηση αστικής επέκτασης με χρήση μοντέλου πολλαπλών πρακτόρων στην πόλη Changsha» όπου προσομοιώνονται οι αλληλεπιδράσεις διαφορετικών παραγόντων, όπως κατοίκων, αγροτών και κυβερνήσεων.

### **Μοντελοποίηση με Δέντρα Απόφασης**

Τα δένδρα απόφασης είναι ένας αλγόριθμος ταξινόμησης από πάνω προς τα κάτω, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί στη μοντελοποίηση αλλαγής χρήσης γης και στην ταξινόμηση της χρήσης γης από απομακρυσμένες εικόνες. Παρά την περιορισμένη χρήση τους για την αστική ανάπτυξη, τα δένδρα αποφάσεων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της ικανότητάς τους να δημιουργούν κανόνες και την ευκολία κατανόησης της δομής του μοντέλου. Τα δένδρα απόφασης λαμβάνουν αυτόματα μια ιεράρχηση κανόνων που χρησιμοποιείται για τη

διάσπαση δεδομένων σε διαδοχικά τμήματα. Η κατασκευή ενός δέντρου αποφάσεων περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα. Το πρώτο βήμα σχετίζεται με την οικοδόμηση δέντρων χρησιμοποιώντας αναδρομικό διαχωρισμό κόμβων. Στο δεύτερο βήμα εφαρμόζεται μια διαδικασία κλαδέματος, όπου παράγονται μικρότερα δέντρα με χαμηλότερη πολυπλοκότητα. Παράδειγμα αποτελεί το «Υλοποίηση ενός μοντέλου απόφασης-δέντρου με βάση την COM με VBA στο ArcGIS» των W. Cheng, K. Wang και X. Zhang, το 2010. Τέλος, επιλέγεται το βέλτιστο δέντρο που αποδίδει το χαμηλότερο σφάλμα δοκιμής. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι δέντρων αποφάσεων σύμφωνα με τον αλγόριθμο εκμάθησης: α) δέντρα ταξινόμησης και β) δέντρα παλινδρόμησης. Στην πρώτη, τα αποτελέσματα της προβλεπόμενης μεταβλητής λαμβάνουν μόνο δύο τιμές, συνήθως 0 και 1, ενώ στην τελευταία η προβλεπόμενη έξοδος διαφέρει μεταξύ των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Τα δέντρα αποφάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ταξινόμηση βάσει εικόνας για αστικές χρήσεις γης για να χαρτογραφήσουν αστικές δομές και κάλυψη αστικής βλάστησης, τα οποία είναι σημαντικά συστατικά του αστικού μοντέλου και του σχεδιασμού (Triantakonstantis and Mountrakis, 2012).



Εικόνα 12 Γεωγραφική κατανομή 161 μελετών όπως ορίζονται από το πρόγραμμα ταξινόμησης UN-M.49 Πηγή: G. Grekousis, 2019

### 3.5 Σχετικές Εργασίες

Αρκετές μελέτες συνδύασαν διαφορετικούς αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να προβλέψουν την αστική ανάπτυξη. Σύμφωνα με τη μελέτη των (Cutchan et al., n.d. 2020), παρακάτω παραθέτονται ορισμένες αξιοσημείωτες εργασίες που έγιναν για τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης.

Οι **Berberoğlu et al. (2016)** πραγματοποίησαν πρόβλεψη αστικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο (ΤΝΔ), μια αλυσίδα Markov (MC) και ένα LR (λογιστική παλινδρόμηση). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν εικόνες από απόσταση από το 1967 έως το 2007 με χωρική ανάλυση 10 m × 10 m ως είσοδο και είχαν ως στόχο να προβλέψουν την αστική ανάπτυξη για το 2023 στην Adana (Τουρκία). Ανέφεραν ότι το ΤΝΔ τους σημείωσε υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης από το LR τους.

Οι **Shafizadeh - Moghadam et. al. (2017)** έκαναν μια σύγκριση τεσσάρων διαφορετικών διαδικασιών μηχανικής μάθησης για πρόβλεψη αστικής ανάπτυξης, συγκεκριμένα, ΤΝΔ, ΚΑ, ένα στατιστικό μοντέλο και ένα δέντρο αποφάσεων. Η περιοχή ενδιαφέροντος τους ήταν η Τεχεράνη (Ιράν). Χρησιμοποίησαν απομακρυσμένες εικόνες από το 1985 έως το 1999 με χωρική ανάλυση 30 m × 30 m για να προβλέψουν την αστική ανάπτυξη για το έτος 2014. Ανέφεραν ότι το μοντέλο ΤΝΔ τους προέβλεπε με συνολική ακρίβεια 74,1%.

Πίνακας 1 Σχετικές εργασίες και επιστημονική έρευνα

Συγγραφείς	Χρησιμοποιούμενη μέθοδος	Χωρική ανάλυση	Συνολική ακρίβεια	Τιμή Κάππα
<b>Grekousis, Manetos και Photis (2013)</b>	Artificial Intelligence, GIS και ασαφής λογική	Επίπεδο δήμου	N/A	N/A
<b>Chaudhuri και Clarke (2014)</b>	SLEUTH και LR	500 m × 500 m	N/A	0,71
<b>Triantakonstantis και Stathakis (2015)</b>	MLP	100m x 100m	N/A	0.64
<b>Οι Berberoğlu et al. (2016)</b>	SLEUTH, δέντρο παλινδρόμησης (RT), LR ,ΤΝΔ	10 m × 10 m	71% (ΤΝΔ)	0.6586 (ΤΝΔ)
<b>Shafizadeh - Moghadam et al. (2017)</b>	ΤΝΔ και ΚΑ ένα στατιστικό μοντέλο και ένα δέντρο αποφάσεων	30 m × 30 m	74,7% (ΤΝΔ)	N/A
<b>Οι Xu et al. (2019)</b>	ΤΝΔ, ΚΑ	30 m × 30 m	N/A	0,94
<b>Οι Xia et al. (2019)</b>	ΚΑ και βαρυτικό μοντέλο	30 m × 30 m	N/A	0,7510
<b>Οι Zhou et al. (2019)</b>	SLEUTH	30 τόξα - δευτερόλεπτα	N/A	N/A

Από την άλλη πλευρά, οι **Τριαντακωνσταντής και Σταθάκης (2015)** εφάρμοσαν ένα MLP για πρόβλεψη αστικής ανάπτυξης στην Αθήνα (Ελλάδα) και χρησιμοποίησαν δεδομένα κάλυψης γης CORINE από το 1990 έως το 2000 με χωρική ανάλυση 100 m × 100 m για να υπολογίσουν ένα μοντέλο πρόβλεψης αστικής ανάπτυξης για το 2006. Συνέκριναν τα αποτελέσματά τους με τα πραγματικά δεδομένα κάλυψης γης του Urban Atlas 2006 για να επικυρώσουν το μοντέλο τους και ανέφεραν τιμή kappa 0,64.

Οι **Xu et al. (2019)** συνδύασε ένα ΤΝΔ με ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων (MCA) και CA για την προσομοίωση της αστικής επέκτασης. Μια αρχιτεκτονική ΤΝΔ αναπτύχθηκε για να προσομοιώσει την αστική επέκταση με βάση δύο πιθανές εκροές, συγκεκριμένα, αστικά και μη αστικά κελιά. Χρησιμοποίησαν χάρτες κάλυψης γης του Ωκλαντ (Νέα Ζηλανδία) από τα έτη 1996, 2006 και 2016 προκειμένου να προβλέψουν την αστική ανάπτυξη για το έτος 2026. Επέλεξαν επτά χαρακτηριστικά, δηλαδή, «δάσος, γρασίδι, ανοιχτή και γυμνή γη, χωράφια, νερό, μεταφορές και αστική περιοχή «για λόγους πρόβλεψης. Ο υψηλότερος συντελεστής kappa που σημείωσε το μοντέλο τους ήταν 0,94.

Οι **Xia et al. (2019)** εφάρμοσε ένα ΚΑ και ένα βαρυτικό μοντέλο για την πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης. Περιλάμβαναν οκτώ χαρακτηριστικά στο μοντέλο ΚΑ τους, με βάση την απόσταση από το οδικό δίκτυο καθώς και την κλίση. Ανέφεραν ότι το μοντέλο τους είχε καλύτερη απόδοση για μικρές και μεσαίες πόλεις λόγω της ισχυρής βαρυτικής επίδρασης των βασικών πόλεων που βρίσκονταν στην ενδοχώρα. Επομένως, μοντελοποίησαν τις συχνές ροές μεταξύ των πόλεων. Χρησιμοποίησαν τρεις διαφορετικές πηγές δεδομένων για την πρόβλεψή τους, συγκεκριμένα: Εικόνες με χωρική ανάλυση 30 m × 30 m, ψηφιακά μοντέλα εδάφους και δεδομένα σχετικά με τη ροή του πληθυσμού μεταξύ των επιλεγμένων πόλεων. Οι περιοχές τους ήταν τρεις επαρχίες στην Κίνα: Hubei, Hunan και Jiangxi. Ανέφεραν τιμή kappa 0,75 για το μοντέλο τους.

Οι **Chaudhuri και Clarke (2014)** χρησιμοποίησαν μια τεχνική SLEUTH βασισμένη σε ΚΑ και περιγραφικές στατιστικές προκειμένου να προβλέψει την αστική ανάπτυξη. Χρησιμοποίησαν εικόνες από το δορυφόρο Landsat καθώς και από το Aster από το 1985 έως το 2004 για να προβλέψουν την αστική ανάπτυξη μεταξύ 2005 και 2010. Η περιοχή μελέτης τους ήταν η Gorizia (Ιταλία). Ανέφεραν ότι η συνολική ακρίβεια αυξήθηκε, καθώς η χρονική ανάλυση των δεδομένων εισόδου μειώθηκε και ότι η αύξηση του χρονικού διαστήματος έως την ημερομηνία υπολογισμού της πρόβλεψης μείωσε την ακρίβεια της πρόβλεψης.

Οι **Zhou et al. (2019)** πρότειναν τη συμπερίληψη δεδομένων πληθυσμού στο μοντέλο SLEUTH για την πρόβλεψη του παγκόσμιου αστικού ρυθμού ανάπτυξης για το 2050. Χρησιμοποίησαν το δείκτη αστικής ανάπτυξης από τα δεδομένα του παγκόσμιου πληθυσμού μεταξύ 2000 και 2013, ο οποίος βασίζεται στην τοπογραφία, στα υπάρχοντα δίκτυα κυκλοφορίας, στις προστατευόμενες περιοχές, στις υδάτινες περιοχές και σε ιστορικά χαρακτηριστικά αστικής ανάπτυξης. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συμπερίληψη κοινωνικών δεδομένων παρέχει καλύτερα αποτελέσματα για την πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης σε ετερογενείς περιοχές αστικής ανάπτυξης. Πρότειναν επίσης τη βελτίωση του μοντέλου συμπεριλαμβάνοντας χωρικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης καθώς και οικονομικούς παράγοντες.

Οι **Grekousis, Manetos και Photis (2013)** παρουσίασαν μια πρωτότυπη μεθοδολογία για την ανάπτυξη ενός αστικού μοντέλου από γεωδημογραφική άποψη, μια προσέγγιση τεχνητής νοημοσύνης ενσωματωμένη με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και ασαφή λογική για τη μοντελοποίηση της αστικής εξέλιξης.

Πρώτον, η ασαφής ομαδοποίηση χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση των χωρικών μονάδων σε ομάδες. Η ομαδοποίηση βασίστηκε σε δεδομένα από την εθνική απογραφή, όπως πληθυσμός, αριθμός κτιρίων και χρήση κτιρίου σε επίπεδο δήμου. Με ασαφή ομαδοποίηση, σε κάθε χωρική μονάδα ανατέθηκε ένας παράγοντας εξέλιξης και αστικοποίησης. Ένα νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης αστικοποίησης κάθε χωρικής μονάδας. Η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόστηκε στη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας στην Ελλάδα από το 1961 έως το 2001, με σκοπό την αστική πρόβλεψη για το 2011. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση οριοθέτησε το μελλοντικό επίπεδο αστικοποίησης πιο αξιόπιστα σε συνδυασμό με μια πιο χρονικά και θεματικά πλήρη βάση δεδομένων.

## 4. Μηχανική Μάθηση - Νευρωνικά Δίκτυα

### 4.1 Μηχανική Μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη αναμένεται να επηρεάσει δραματικά την οικονομική ανάπτυξη, αυξάνοντας την παραγωγικότητα έως και 40% μέχρι το 2035 ( Purdy & Daughtery, 2016 ).

Η παγκόσμια αγορά βαθιάς μάθησης αναμένεται να αναπτυχθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης, 65,3%, μεταξύ του 2016 και του 2022 και να επιτύχει αξία 1772,9 εκατομμυρίων USD έως το 2022 ( Markets and Markets, 2016 ).

Στο χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης οι επιστήμονες πάντα προσπαθούσαν να «αντιγράψουν» το ανθρώπινο μυαλό. Είναι ένας βασικός στόχος στην εξέλιξη της μηχανικής μάθησης.

Αυτή μπορεί να οριστεί ως: το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σύστημα βελτιώνει την απόδοσή του κατά την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να προγραμματιστεί εκ νέου. Βάσει του ορισμού αυτού, η Μηχανική Μάθηση έχει ως σκοπό τη δημιουργία μηχανών ικανών να μαθαίνουν, να βελτιώνου, δηλαδή, την απόδοσή τους σε κάποιους τομείς μέσω της αξιοποίησης προηγούμενης γνώσης και εμπειρίας.

Ως κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης, η Μηχανική Μάθηση ασχολείται με τη μελέτη αλγορίθμων που βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους σε κάποια εργασία που τους έχει ανατεθεί, χρησιμοποιώντας την εμπειρία τους.

Εναλλακτικά, η Μηχανική Μάθηση ορίζεται ως η ικανότητα ενός υπολογιστικού συστήματος να δημιουργεί μοντέλα ή πρότυπα από ένα σύνολο δεδομένων και να μαθαίνει από αυτά.

Συστήματα με ικανότητα μηχανικής μάθησης είναι σε θέση:

- να μεταβάλλονται διαρκώς προς το καλύτερο, αναφορικά με τις λειτουργίες που είναι σε θέση να εκτελέσουν.
- να μεταβάλλουν τη βάση γνώσης τους είτε μετασχηματίζοντας την εσωτερική τους δομή (π.χ. νευρωνικά δίκτυα) ή αποκτώντας επιπλέον γνώση (π.χ. έμπειρα συστήματα).
- να εκτελούν γενικεύσεις, δηλαδή να αγνοούν χαρακτηριστικά και ιδιότητες που δεν είναι αντιπροσωπευτικά της έννοιας/ενέργειας που πρέπει να μάθουν.

Εν γένει, ο τομέας της Μηχανικής Μάθησης αναπτύσσει τρεις τρόπους μάθησης, ανάλογους με τους τρόπους με τους οποίους μαθαίνει ο άνθρωπος: επιβλεπόμενη μάθηση, μη επιβλεπόμενη μάθηση και ενισχυτική μάθηση. Πιο αναλυτικά:

- Επιβλεπόμενη Μάθηση (Supervised Learning) είναι η διαδικασία όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει μια συνάρτηση που απεικονίζει δεδομένες εισόδους (σύνολο εκπαίδευσης) σε γνωστές επιθυμητές εξόδους, με απώτερο στόχο τη γενίκευση της συνάρτησης αυτής και για εισόδους με άγνωστη έξοδο. Χρησιμοποιείται σε προβλήματα: ο Ταξινόμησης (Classification) ο Πρόγνωσης (Prediction) ο Διερμηνείας (Interpretation)
- Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση (Unsupervised Learning), όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει ένα μοντέλο για κάποιο σύνολο εισόδων υπό μορφή παρατηρήσεων, χωρίς να γνωρίζει τις επιθυμητές εξόδους. Χρησιμοποιείται σε προβλήματα: ο Ανάλυσης Συσχετισμών (Association Analysis) ο Ομαδοποίησης (Clustering)
- Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning), όπου ο αλγόριθμος μαθαίνει μια στρατηγική ενεργειών μέσα από άμεση αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.



Χρησιμοποιείται κυρίως σε προβλήματα Σχεδιασμού (Planning), όπως για παράδειγμα ο έλεγχος κίνησης ρομπότ και η βελτιστοποίηση εργασιών σε εργοστασιακούς χώρους.

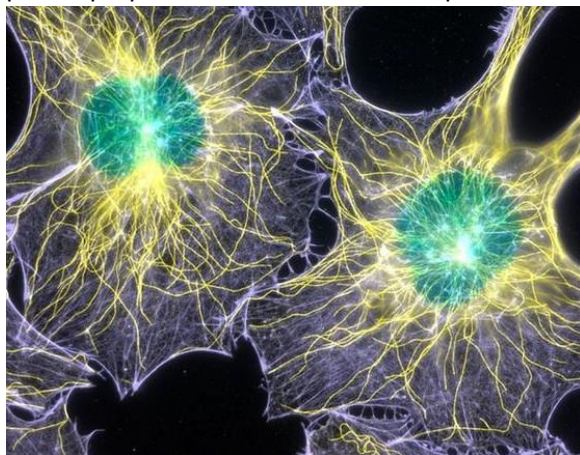
**Για κάθε πρόβλημα προς επίλυση στο χώρο της Μηχανικής Μάθησης υπάρχει ένας κατάλληλος τρόπος μάθησης και για κάθε τρόπο μάθησης υπάρχει τουλάχιστον ένας κατάλληλος αλγόριθμος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.**

Η βασικότερη φάση κάθε αλγόριθμου είναι η εκπαίδευση, όπου ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ως είσοδο ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (training set) προς επίτευξη του σκοπού του, τη δημιουργία νέας γνώσης. Επιπλέον, μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει λιγότερο ή περισσότερο την υπάρχουσα γνώση, είτε να μην τη χρησιμοποιήσει καθόλου. Την εκπαίδευση ακολουθεί η φάση της πιστοποίησης της παραγόμενης νέας γνώσης. Συνήθως, η πιστοποίηση πραγματοποιείται αρχικά από τον ίδιο τον αλγόριθμο μέσω διαδικασιών ανάκλησης (recall) με τη βοήθεια δεδομένων ελέγχου (test data) και στη συνέχεια, μέσω κριτικής που κάνει ο χρήστης, βάσει των γνώσεων που διαθέτει για το πρόβλημα που επιχειρεί να λύσει ο αλγόριθμος. Τέλος, η νέα γνώση δίνεται προς χρήση σε εφαρμογές στις οποίες είναι απαραίτητη, για να λυθούν πραγματικά προβλήματα.

Συνοψίζοντας η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων ή προτύπων από ένα σύνολο δεδομένων σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Τα μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τη λογική της μηχανικής εκμάθησης (Machine Learning), χρησιμοποιούνται από διάφορους επιστημονικούς κλάδους.

#### 4.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο όρος Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks, Connectionist Networks, Parallel Distributed Processing Models) περιγράφει έναν αριθμό από διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα, εμπνευσμένα από αντίστοιχα βιολογικά μοντέλα, δηλαδή μοντέλα που προσπαθούν να μιμηθούν τη συμπεριφορά των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ήδη από τον 19ο αιώνα οι επιστήμονες παραδέχονται ότι ο εγκέφαλος αποτελείται από διακριτά στοιχεία, τους νευρώνες (neurons), που επικοινωνούν το ένα με το άλλο. Οι νευρώνες συνιστούν το βασικό δομικό κομμάτι του ανθρώπινου εγκεφάλου. Υπολογίζεται ότι ο εγκέφαλος περιέχει 10 δισ. περίπου νευρώνες τοποθετημένους σε ομάδες, καθεμία από τις οποίες συνιστά ένα φυσικό νευρωνικό δίκτυο. Έτσι, ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει εκατοντάδες φυσικά νευρωνικά δίκτυα, καθένα από τα οποία περιέχει χιλιάδες διασυνδεδεμένους νευρώνες με μέσο αριθμό διασυνδέσεων ανά νευρώνα 1000 με 10.000 (Γεωργούλη, 2015).

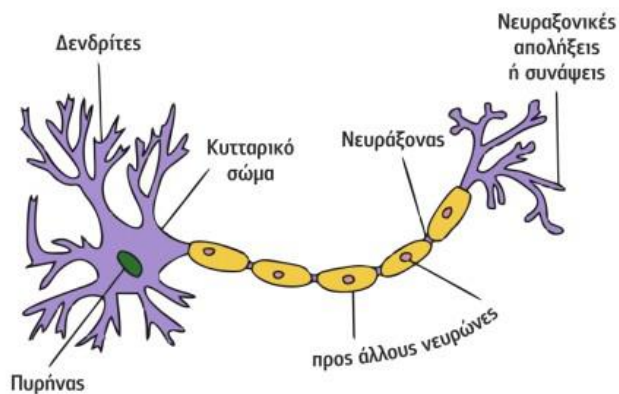


Εικόνα 13 Μικροσκοπική φωτογραφία φυσικών νευρώνων Πηγή: Γεωργούλη, 2015



### Χαρακτηριστικά των φυσικών νευρώνων

Ένας νευρώνας διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα κύτταρα με μια μεμβράνη και έχει την ικανότητα να μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα από το νευρώνα αυτόν, προς τους υπόλοιπους νευρώνες με τους οποίους επικοινωνεί.

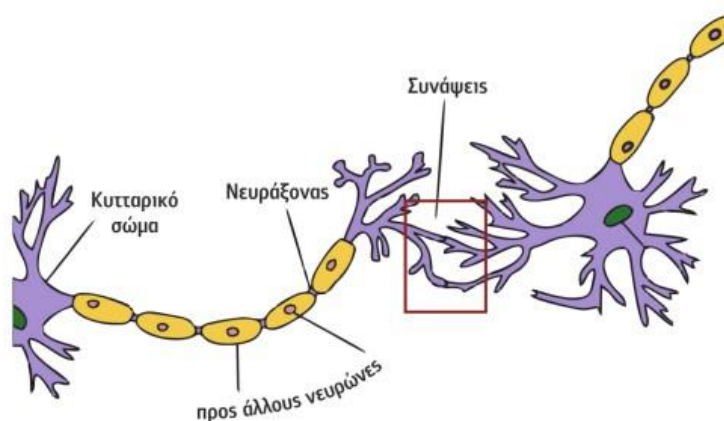


Εικόνα 14 Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού νευρώνα Πηγή: Γεωργούλη, 2015

Κάθε νευρώνας αποτελείται από 3 κύρια τμήματα (βλέπε Σχήμα 4.16):

- τους δενδρίτες (dendrites), οι οποίοι λειτουργούν ως κανάλια εισόδου για το νευρώνα,
- το κυρίως κυτταρικό σώμα (cell body),
- τον άξονα του κυττάρου-νευροάξονα (αχον), που συνδέει ένα νευρώνα με άλλους νευρώνες. Ο άξονας του ενός νευρώνα μεταφέρει σήματα στους δενδρίτες γειτονικών νευρώνων μέσω του σημείου ένωσης, που ονομάζεται νευροαξονική απόληξη ή σύναψη (synapse).

Ένας νευρώνας μπορεί να λάβει σήματα από ένα σύνολο γειτονικών νευρώνων μέσω των δενδριτών, να τα επεξεργαστεί και να τροφοδοτήσει την έξοδό του μέσω του άξονα προς ένα άλλο σύνολο γειτονικών νευρώνων (βλέπε Σχήμα 4.17). Τα σήματα που έρχονται μέσω των δενδριτών “ζυγίζονται” και τα αποτελέσματα αθροίζονται. Όταν το άθροισμα ξεπεράσει το οριακό επίπεδο (τιμή κατωφλίου), ο νευρώνας δημιουργεί μια έξοδο (με τη μορφή νευρικής ώσης ή ηλεκτρικού σήματος) στον άξονά του, η οποία εν συνεχεία μέσω των συνάψεων θα μεταφερθεί στους γειτονικούς νευρώνες.



Εικόνα 15 Φυσιικοί διασυνδεδεμένοι νευρώνες Πηγή: Γεωργούλη, 2015

Για την παραγωγή σήματος, ο νευρώνας δέχεται σήματα εισόδου που επιδρούν στο δυναμικό του αυξομειώνοντάς το. Όταν αθροιστικά το δυναμικό ξεπεράσει κάποιο όριο (ποικίλλει από κατηγορία σε κατηγορία κυττάρου μεταξύ  $-40$  mV και  $-75$  mV), τότε ο νευρώνας διεγείρεται και παράγει το ηλεκτρικό σήμα. Ο νευρώνας μεταφέρει το ηλεκτρικό σήμα πάντοτε προς μια προβλέψιμη και σταθερή κατεύθυνση.

Υπάρχουν δυο διακριτές καταστάσεις σημάτων: • Δυναμικό ηρεμίας • Δυναμικό ενέργειας  
Τα σήματα που λαμβάνονται από ένα νευρώνα μεταβάλλονται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των επαφών των συνάψεων, ώστε να εμποδίζονται μερικά και να επιτρέπεται σε άλλα να διαδοθούν. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συνάψεων αποτελούν κάποιο είδος πληροφορίας μοναδικής σε κάθε νευρώνα. Με αυτό τον τρόπο οι πληροφορίες που κρατούνται από ένα δίκτυο κατανέμονται στους νευρώνες του.

Η μεταβίβαση πληροφορίας γίνεται με βάση το δυναμικό ενέργειας που καθορίζεται, όχι από τον τύπο του σήματος, αλλά από την οδό του εγκεφάλου μέσα από διακριτά επικοινωνούντες νευρώνες από τους οποίους περνάει το σήμα.

Η έκφραση “διακριτά επικοινωνούντα στοιχεία” είναι η βάση του ορισμού των ψηφιακών κυκλωμάτων, αλλά σε καμία περίπτωση ο εγκέφαλος δεν είναι ένας ψηφιακός ηλεκτρονικός υπολογιστής ούτε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να αντικαταστήσει τον εγκέφαλο. Μία από τις βασικές αιτίες είναι ότι τα πολλαπλά φυσικά νευρωνικά δίκτυα του εγκεφάλου είναι οργανωμένα σε τμήματα που λειτουργούν παράλληλα: το καθένα από αυτά μπορεί να προκαλέσει ανεξάρτητες συμπεριφορές, εμφανίζοντας πλαστικότητα στην ανάληψη λειτουργιών (δηλαδή προσαρμόζονται σε αλλαγές που επιφέρει το εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον, ώστε να εξακολουθούν να λειτουργούν επιτυχώς στο μέτρο του δυνατού) και ως εκ τούτου δεν μπορούν να εξομοιωθούν με ηλεκτρονικά κυκλώματα που δε διαθέτουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

### Προσομοίωση φυσικών νευρωνικών δικτύων με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

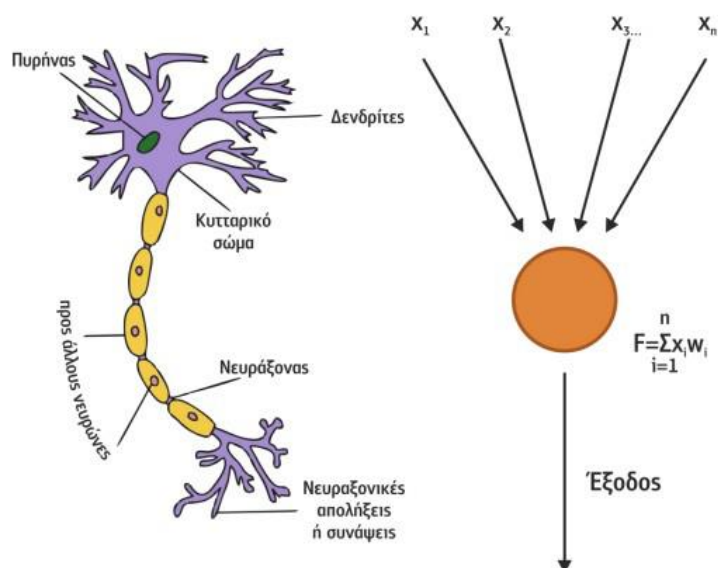
Τα μαθηματικά μοντέλα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, σε πλήρη αντιστοιχία με τα βιολογικά, αποτελούνται από έναν αριθμό απλών και με υψηλό βαθμό εσωτερικής διασύνδεσης επεξεργαστικών μονάδων, οργανωμένων σε στρώματα. Τα **Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα-TND** (Artificial Neural Networks ANN) επεξεργάζονται πληροφορίες ανταποκρινόμενα δυναμικά σε εξωτερικά ερεθίσματα (εισόδους). Κάθε τεχνητός νευρώνας αποτελείται από πολλές εισόδους  $x_i$  και μία μόνο έξοδο  $y$ . Κάθε είσοδος  $x_i$  “ζυγίζεται” με ένα βάρος  $w_i$  και τα αποτελέσματα αθροίζονται μέσω της **συνάρτησης αθροίσματος** (summation function)  $F$ :

$$F = \sum_i^n x_i w_i$$

Ο τεχνητός νευρώνας δίνει έξοδο μέσω της **συνάρτησης μετάβασης** (transfer function), μόνο όταν το ζυγισμένο άθροισμα των εισόδων είναι μεγαλύτερο μιας ορισμένης **τιμής κατωφλίου** (threshold value)  $\theta$ , δηλαδή όταν:

$$\sum_i^n x_i w_i - \theta > 0$$

Ένας τεχνητός νευρώνας αποτελεί απλοποιημένο μοντέλο του φυσικού νευρώνα, κατά το ότι τα βάρη διασύνδεσης σχηματίζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της επαφής της σύναψης και η τιμή κατωφλίου προσομοιώνει τη συμπεριφορά κορεσμού του φυσικού νευρώνα.



Εικόνα 16 Ο φυσικός νευρώνας σε σχέση με τον στοιχειώδη τεχνητό νευρώνα (Perceptron) Πηγή: Γεωργούλη, 2015

Ένα από τα απλούστερα ΤΝΔ που προσομοιώνουν τον φυσικό νευρώνα είναι ο **στοιχειώδης Perceptron** (basic Perceptron), δηλαδή ένα ΤΝΔ που αποτελείται από ένα μόνο νευρώνα. Η έξοδος  $a$  του Perceptron για ένα διάνυσμα εισόδου  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  δίνεται μέσω της συνάρτησης μετάβασης  $g$  ως ακολούθως:

$$a = g \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

#### Συνοπτική περιγραφή ενός ΤΝΔ:

- Τα ΤΝΔ συνήθως οργανώνονται σε **επίπεδα** (layers) τα οποία καλούνται και στρώματα. Τα ενδιάμεσα επίπεδα καλούνται κρυμμένα επίπεδα (hidden layers) και δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν.
- Τα επίπεδα αποτελούνται από έναν αριθμό **μονάδων** (units) ή κόμβων (nodes) που είναι έτσι συνδεδεμένες μεταξύ τους, ώστε μία μονάδα να έχει συνδέσμους με πολλές άλλες μονάδες του ίδιου ή άλλου επιπέδου.
- Οι μονάδες επιδρούν σε άλλες μονάδες με το να τις διεγείρουν ή να αναστέλλουν την ενεργοποίησή τους. Για να επιτευχθεί αυτό η μονάδα λαμβάνει το σταθμισμένο άθροισμα όλων των εισόδων, μέσω των συνδέσμων που καταλήγουν σε αυτήν και παράγει μέσω της συνάρτησης μετάβασης μία μοναδική έξοδο, εάν το άθροισμα υπερβαίνει μία τιμή κατωφλίου.
- Οι εισοδοί παρουσιάζονται στο δίκτυο μέσω του επιπέδου εισόδου (input layer), το οποίο επικοινωνεί με ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα. Τα κρυμμένα επίπεδα συνδέονται με

το επίπεδο εξόδου (output layer) από το οποίο εξάγεται η απάντηση. Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής των ΤΝΔ που πρέπει να καθοριστούν κατά τη δημιουργία τους είναι:

- Ο αριθμός των ενδιάμεσων κρυφών επιπέδων,
- Ο αριθμός των μονάδων (ή κόμβων) ανά επίπεδο,
- Ο τρόπος σύνδεσης των μονάδων μεταξύ τους,
- Η τιμή ενεργοποίησης (τιμή κατωφλίου),
- Η μορφή της συνάρτησης μετάβασης,
- Οι τιμές των αρχικών βαρών μεταξύ των μονάδων,
- Οι αλγόριθμοι (κανόνες εκπαίδευσης) που χρησιμοποιούνται, για να ενισχυθούν οι σύνδεσμοι μεταξύ των μονάδων κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης.

### **Ιστορική Αναδρομή**

Τα ορόσημα στην εξέλιξη του χώρου των ΤΝΔ είναι τα ακόλουθα:

**1943:** McCulloch & Pitts – Δημιουργούν το πρώτο μοντέλο ΤΝΔ

**1949:** Hebb – Δημιουργεί το μοντέλο μάθησης που πήρε το όνομά του, στο οποίο κάθε φορά που ενεργοποιείται μια σύναψη αυτή ενισχύεται, με αποτέλεσμα το δίκτυο να μαθαίνει “λίγο περισσότερο” το πρότυπο που του παρουσιάζεται εκείνη τη στιγμή.

**1957:** Rosenblatt- Προτείνει το στοιχειώδες ΤΝΔ του απλού αισθητήρα, το οποίο ονομάζεται Perceptron.

**1969:** Minsky & Papert- Αποδεικνύουν μαθηματικά ότι τα ΤΝΔ ενός επιπέδου δεν μπορούν να λύσουν μη γραμμικά προβλήματα.

**1982:** Μαθηματική απόδειξη ότι ένα ΤΝΔ πολλών επιπέδων μπορεί να αποθηκεύσει οποιαδήποτε πληροφορία.

**1986:** Werbos & Rumelhart – Προτείνουν τη μέθοδο οπισθοδιάδοσης (backpropagation) για την εκπαίδευση ΤΝΔ.

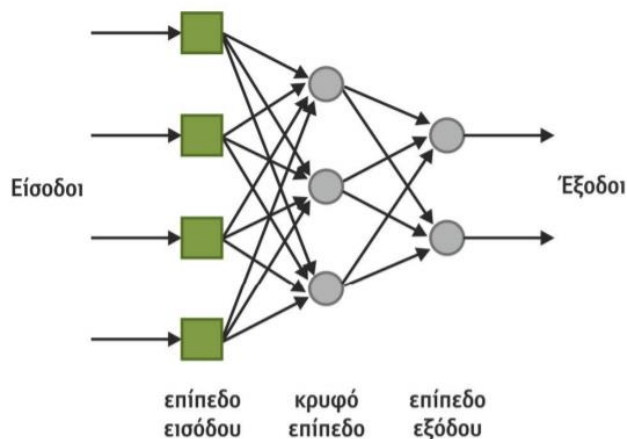
### **Αρχιτεκτονική ΤΝΔ**

Όσον αφορά το πώς είναι συνδεδεμένες οι μονάδες μεταξύ τους, υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες ΤΝΔ:

- **πρόσθιας τροφοδότησης** (feed forward) και
- **οπίσθιας τροφοδότησης** (feed backward)

Στα νευρωνικά δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης, οι μονάδες είναι οργανωμένες σε διαφορετικά επίπεδα, ώστε οι μονάδες του ενός επιπέδου να τροφοδοτούν τις μονάδες του επόμενου επιπέδου, έως ότου τροφοδοτηθούν και οι μονάδες του τελευταίου επιπέδου. Δηλαδή, δεν υπάρχει έξοδος μονάδας ενός επιπέδου που να αποτελεί είσοδο μονάδας του ίδιου ή προηγούμενων επιπέδου. Τέτοια ΤΝΔ είναι τα δίκτυα οπισθοδιάδοσης (backpropagation). Στα οπισθίως τροφοδοτούμενα δίκτυα, που καλούνται και

ανατροφοδοτούμενα ΤΝΔ (recurrent ANN), επιτρέπεται στις μονάδες ενός επιπέδου να τροφοδοτούν και μονάδες του ίδιου επιπέδου ή και προηγούμενων επιπέδων.



Σχήμα 6 Ένα ΤΝΔ πρόσθιας τροφοδότησης Πηγή: Γεωργούλη, 2015

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών, χρησιμοποιούνται δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης ενός κρυφού επιπέδου με πλήρως συνδεδεμένους κόμβους.

Όσον αφορά τις συναρτήσεις μετάβασης (transfer functions) οι πιο απλές είναι οι γραμμικές όπως οι παρακάτω:

- βηματικές συναρτήσεις ή συναρτήσεις κατωφλίου (threshold functions),
- συναρτήσεις προσήμου (sign functions),
- συναρτήσεις βηματικής μεταβολής (hard limiter functions),
- συναρτήσεις αναρρίχησης (ramping functions). κ.ά.

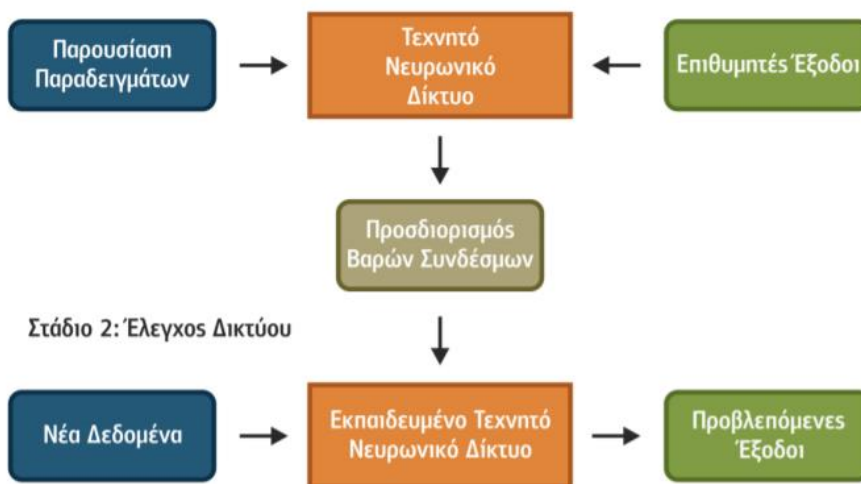
Ένα γνωστό ΤΝΔ που χρησιμοποιεί τη δυαδική γραμμική συνάρτηση είναι ο Perceptron. Συνηθέστερα όμως, χρησιμοποιούνται μη γραμμικές συναρτήσεις, όπως οι σιγμοειδείς συναρτήσεις (sigmoid functions) και οι Γκαουσιανές συναρτήσεις (Gaussian functions).

### Στάδια ολοκλήρωσης ΤΝΔ

Αφού καθοριστεί η αρχιτεκτονική ενός ΤΝΔ, όσον αφορά τον τύπο τροφοδότησης και την εσωτερική του δομή, ακολουθούν δυο στάδια κρίσιμα για την ολοκλήρωσή του: εκπαίδευση (training) και έλεγχος (validation)).

Κατά το στάδιο της εκπαίδευσης, τα συνδεσμικά βάρη του δικτύου “μαθαίνουν” προσαρμόζοντας τα βάρη τους. Μετά την εκπαίδευση, ακολουθεί η φάση του ελέγχου του δικτύου με τη βοήθεια ενός νέου συνόλου δειγμάτων, τα οποία δεν είχαν πάρει μέρος στη διαδικασία εκπαίδευσης.

### Στάδιο 1: Εκπαίδευση Δικτύου



Σχήμα 7 Στάδια Ολοκλήρωσης ενός ΤΝΔ Πηγή: Γεωργούλη, 2015

### Εκπαίδευση ΤΝΔ

Ακριβώς για τη δυνατότητα που έχουν να μαθαίνουν μετά από εκπαίδευση, τα ΤΝΔ είναι τόσο δημοφιλή μέσα στο χώρο των συστημάτων Μηχανικής Μάθησης. Η εκπαίδευσή τους γίνεται βάσει αλγορίθμων που μπορεί να υιοθετούν μοντέλα μάθησης με επίβλεψη, χωρίς επίβλεψη ή ενισχυτικής μάθησης.

- **Εκπαίδευση με επίβλεψη**, όπου το νευρωνικό δίκτυο μαθαίνει να απεικονίζει δεδομένες εισόδους σε εξόδους εκ των προτέρων γνωστές (σύνολο εκπαίδευσης), με απώτερο στόχο τη γενίκευση της αναγνώρισης αυτής και για παρεμφερείς εισόδους στο μέλλον.
- **Εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη**, όπου το νευρωνικό δίκτυο κατασκευάζει απεικονίσεις από μια αναπαράσταση σε μια άλλη.
- **Ενισχυτική Εκπαίδευση**, όπου ο αλγόριθμος μαθαίνει μια στρατηγική ενεργειών για δεδομένου τύπου παρατηρήσεις.

Η εκπαίδευση έχει ως βασικό στόχο να βρεθεί ένας τρόπος αλλαγής των συνδεσμικών βαρών, κάτι το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της γενικής συμπεριφοράς του δικτύου, με την αύξηση της ικανότητας αυτού να παρέχει στο μέλλον μία επιθυμητή έξοδο μετά από μία δεδομένη είσοδο. Όταν η επιθυμητή έξοδος είναι εκ των προτέρων γνωστή, λέμε ότι το δίκτυο μαθαίνει με επίβλεψη (supervised learning), αλλιώς μαθαίνει χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning). Τα ΤΝΔ με οπισθοδρόμηση ανήκουν στην πρώτη περίπτωση, ενώ στη δεύτερη ανήκει το δίκτυο Kohonen.



Πίνακας 2 Γνωστότερα Είδη ΤΝΔ

Γνωστότερα Είδη ΤΝΔ			
Όνομα	Κατασκευαστής	Χρονιά	Τρόπος Εκπαίδευσης
Perceptron	Rosenblatt	1957-62	Με επίβλεψη
Adaline/Madaline	Widow	1960-62	Με επίβλεψη
Back-propagation	Werbos, Rumelhart, et al	1974-86	Με επίβλεψη
Self-organising map	Kohonen (Finland)	1981	Με επίβλεψη
Hopfield Net	Hopfield (USA)	1982	Χωρίς επίβλεψη
Boltzman machine	Hinton (Canada), Hopkins, Szu (USA)	1985-86	Με επίβλεψη

Βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής ενός ΤΝΔ είναι ο τρόπος ελέγχου της αλλαγής των βαρών κατά την εκπαίδευση, δηλαδή ο **αλγόριθμος εκπαίδευσης** (training algorithm) που υλοποιείται αποκλειστικά από το ίδιο το δίκτυο χωρίς εξωτερική επέμβαση. Γνωστότεροι αλγόριθμοι εκπαίδευσης είναι οι ακόλουθοι:

- Αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης λάθους (backpropagation),
- Ανταγωνιστική μάθηση (competitive learning),
- Τυχαία μάθηση (random learning).

Κάθε αλγόριθμος εκπαίδευσης χρησιμοποιεί κάποιον κανόνα εκμάθησης, για να προσαρμόσει τα συνδεσμικά βάρη μεταξύ των νευρώνων του. Ο απλούστερος αλγόριθμος επιβλεπόμενης εκπαίδευσης, είναι αυτός του στοιχειώδους perceptron, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί και σε οποιονδήποτε απλό νευρώνα ενός ΤΝΔ.

### Εκπαίδευση Perceptron

Η βασική ιδέα της εκπαίδευσης ενός Perceptron που γίνεται πάντα κάτω από επίβλεψη, είναι να γίνει χρήση ενός συνόλου εκπαίδευσης (training set), όπου για κάθε ζεύγος ( $x$ ,  $f(x)$ ) ο αλγόριθμος εκπαίδευσης πραγματοποιεί τα ακόλουθα βήματα:

- Ελέγχει εάν η  $y$  που δίνει ο νευρώνας για το δείγμα  $x$  είναι η αναμενόμενη.
- Εάν είναι, η διαδικασία εκπαίδευσης προχωρά στο επόμενο δείγμα, εάν όχι, τότε:
  - I. εάν η σωστή έξοδος είναι μεγαλύτερη από αυτήν που υπολόγισε ο νευρώνας, ο κανόνας εκμάθησης αυξάνει τα βάρη των εισόδων που είναι θετικές και μειώνει τα βάρη των εισόδων που είναι αρνητικές.
  - II. εάν η σωστή έξοδος είναι μικρότερη από αυτήν που υπολόγισε ο νευρώνας, ο κανόνας εκμάθησης μειώνει τα βάρη των εισόδων που είναι θετικές και αυξάνει τα βάρη των εισόδων που είναι αρνητικές.
- Η διαδικασία αυτή εκτελείται, μέχρις ότου ο νευρώνας να απαντά σωστά σε όλα τα δείγματα ή να μη βελτιώνει πλέον σημαντικά την απόδοσή του.

### Προτερήματα ΤΝΔ

Τα ΤΝΔ διαφέρουν αισθητά από άλλες τεχνικές υλοποίησης υπολογιστικών συστημάτων, που επιλύουν προβλήματα παρόμοια με αυτά που επιλύουν στα ΤΝΔ, στα παρακάτω:

- ✓ Δεν χρησιμοποιούν σύμβολα για αναπαράσταση εννοιών του μοντέλου.
- ✓ Δεν κάνουν (σαφή) προγραμματισμό της συμπεριφοράς του μοντέλου.
- ✓ Αυτοπρογραμματίζονται “μαθαίνοντας” να παράγουν συγκεκριμένες εξόδους, όταν δίνονται κάποιες εισοδοί.

### Εφαρμογές ΤΝΔ

Τα ΤΝΔ είναι δημοφιλή σε προβλήματα τα οποία περιέχουν μη-προβλέψιμες λειτουργίες και δεν είναι πλήρως κατανοητά (κατηγοριοποίηση, αποτίμηση, πρόβλεψη):

- αναγνώριση εικόνας,
- επεξεργασία φωνής,
- σχεδιασμός ενεργειών (planning),
- εξόρυξη πληροφορίας,
- χρονοπρογραμματισμός (Scheduling),
- συστήματα ελέγχου και παραγωγής.

### 4.3 Γιατί Επιλέγω ΤΝΔ

Έχουν περάσει περισσότερα από είκοσι χρόνια από τότε που κυκλοφόρησε το επιδραστικό βιβλίο του Openshaw, με τίτλο *Artificial Intelligence in Geography* (Openshaw & Openshaw, 1997). Ο Openshaw ήταν ένας από τους πρώτους γεωγράφους που υποστήριξε σθεναρά τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) και των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) στη γεωγραφία και η κληρονομιά του είναι πρωταρχικής σημασίας στον τομέα. Τα ΤΝΔ χρησιμοποιούνται τώρα για να ανταποκριθούν σε πολλά γεωγραφικά προβλήματα, αν και η χρήση τους υστερεί σε σχέση με κάποιους άλλους κλάδους κυρίως επειδή τα ΤΝΔ θεωρούνται (1) τεχνολογία «black box», (2) πιστεύεται ότι είναι εξαιρετικά περίπλοκα και (3) σπάνια διδάσκονται σε μαθητές γεωγραφίας.

Για παράδειγμα, τα ΤΝΔ και συγκεκριμένα τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα, έχουν αποδείξει πρόσφατα τις ικανότητές τους να χειρίζονται πολλά πολύπλοκα προβλήματα όπως αναγνώριση ομιλίας, αναγνώριση οπτικών αντικειμένων, μετάφραση γλώσσας και οχήματα αυτό-οδήγησης (Grekousis, 2019). Σε συνδυασμό με μη χωρικά, μεγάλα δεδομένα που προέρχονται από απογραφές, βάσεις δεδομένων κοινωνικών μέσων, περιβαλλοντικές βάσεις δεδομένων, βάσεις δεδομένων υγείας και αποθετήρια δεδομένων ιδιωτικών εταιρειών, αυτές οι προσπάθειες θα δημιουργήσουν μια τεράστια ομάδα δεδομένων για βαθύτερη αστική γεωγραφική ανάλυση. Αυτός ο τύπος ανάλυσης μπορεί να επιτευχθεί κυρίως μέσω νέων μεθόδων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική εκμάθηση, οι οποίες, σε πολλές περιπτώσεις, ξεπερνούν τις συμβατικές μεθόδους απόδοσης, μέσω της ανώτερης ικανότητάς τους να χειρίζονται μεγάλα δεδομένα (GFM, 2017).

Στην εργασία του George Grekousis (2019), μελετήθηκαν 140 εργασίες σχετικά με την αξιοπιστία των μοντέλων πρόβλεψης που χρησιμοποιούν. Η ανασκόπηση αποκαλύπτει ότι τα ΤΝΔ εκτιμήθηκαν ως καλύτερες μέθοδοι στο 64,4% των μελετών. Σε σύγκριση με σχετικά συμβατικές μεθόδους (λογιστική παλινδρόμηση, random forest, γραμμική παλινδρόμηση, μέγιστη πιθανότητα, δέντρα απόφασης) το ποσοστό ήταν ακόμη υψηλότερο 75,7%. Αυτή η

ανάλυση βασίζεται στο εάν ένα ΤΝΔ είναι καλύτερο από μια εναλλακτική μέθοδο, ανεξάρτητα από τη μέτρηση που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, τα ΤΝΔ είναι πιο ακριβή από άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη αστικής ανάπτυξης και την ταξινόμηση αστικής χρήσης γης, κάτι που θεωρείται ισχυρή απόδειξη ότι τα ΤΝΔ είχαν καλύτερη απόδοση από άλλες μεθόδους (Grekousis, 2019). Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι τα ΤΝΔ μπορούν να χειριστούν γεωγραφικά δεδομένα καλύτερα σε ορισμένες περιπτώσεις, από άλλες τεχνικές και μπορούν να ενσωματωθούν περαιτέρω σε γεωγραφικές και αστικές μελέτες (Cutchan et al., n.d. 2020).

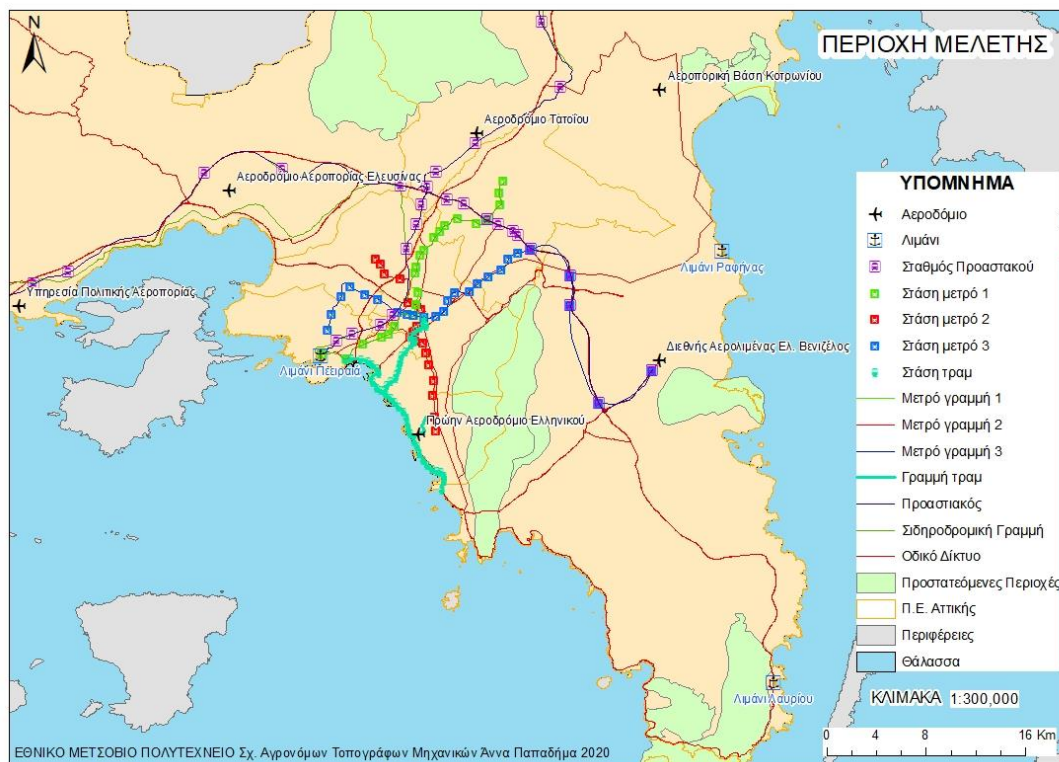
Τελικά είναι φανερό ότι τα ΤΝΔ υπερέχουν έναντι άλλων προσεγγίσεων μηχανικής μάθησης για προβλέψεις αστικής ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκαν κατάλληλα για αυτή την εργασία ως ένας αξιόπιστος τρόπος για την μελέτη της αστικής ανάπτυξης.

## 5. Περιοχή Μελέτης

### 5.1 Περιγραφή της περιοχής

Η Αττική κατοικείται από την εποχή της πρώτης νεολιθικής εγκατάστασης, δηλαδή περισσότερο από 5.000 χρόνια πριν. Ειδικότερα, η οικιστική ανάπτυξη του Λεκανοπεδίου της Αττικής ξεκίνησε γύρω από τους λόφους και κυρίως πέριξ της Ακροπόλεως.

Η **Αττική** είναι περιοχή της Ελλάδας στην οποία εντάσσεται μεταξύ άλλων η πόλη της Αθήνας, η πρωτεύουσα της χώρας, καθώς και η πόλη του Πειραιά. Σήμερα αποτελεί τμήμα μίας από τις 13 περιφέρειες της Ελλάδας με βάση το άρθρο 61 του Νόμου 1622/86.

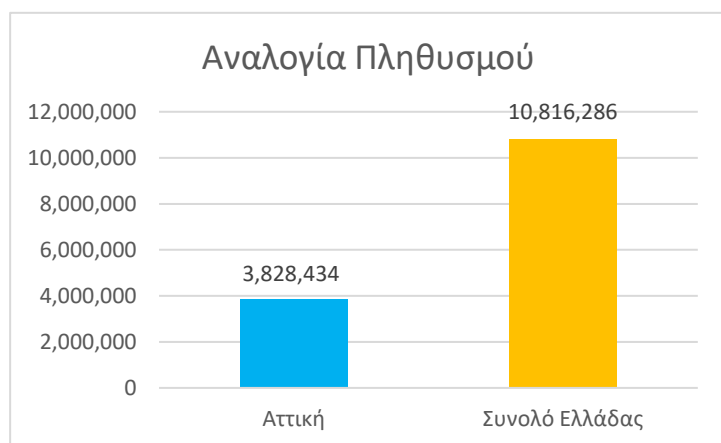


Εικόνα 17 Η περιοχή μελέτης

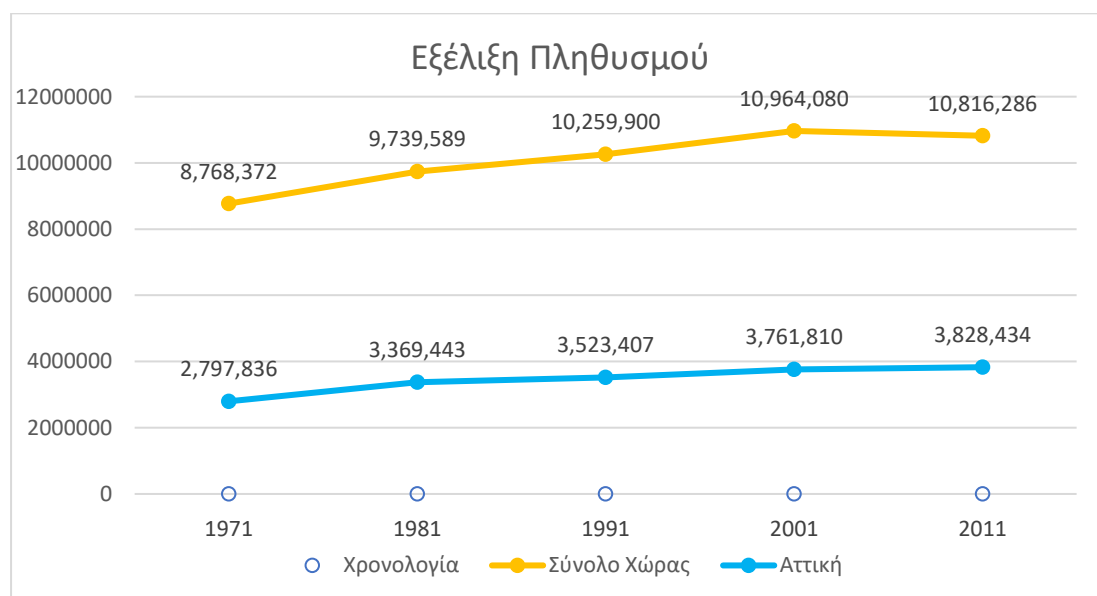
### Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού της Αττικής άρχισε να φθίνει σταδιακά. Αντιθέτως, κατά την δεκαετία του 90 χάρη κυρίως στη μετανάστευση, η αυτή η πτώση ανακόπηκε. Η Αττική είναι μία από τις τέσσερις περιφέρειες της χώρας στις οποίες σημειώνεται φυσική αύξηση του πληθυσμού, με αυξανόμενο μάλιστα ρυθμό από το 1999. Μεταξύ των απογραφών 1991 και 2001 ο πληθυσμός της αυξήθηκε 6,8%, αύξηση σχεδόν αναλογικά ίση με του συνόλου της χώρας (6,9%).

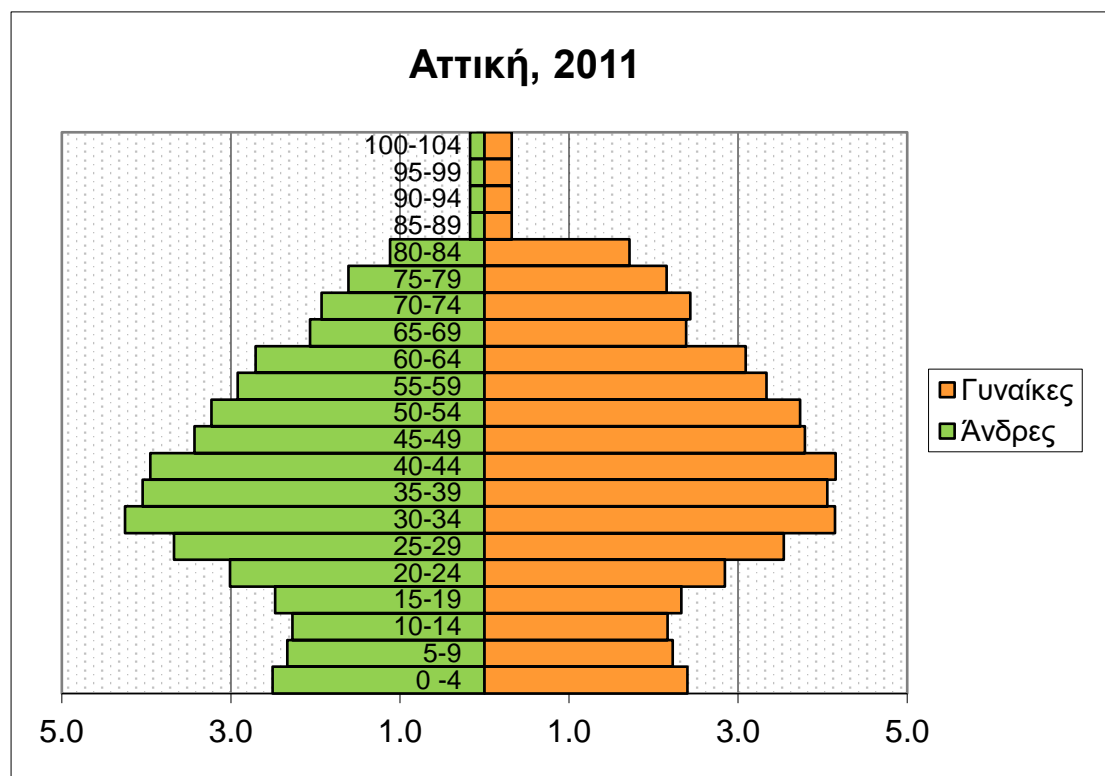
Αποτελεί την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια της Ελλάδας, αφού σε αυτή βρίσκεται το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, που αποτελεί την πρωτεύουσα της Ελλάδας, συγκεντρώνοντας το 1/3 του πληθυσμού της χώρας, δηλαδή 3.828.434 κατοίκους σύμφωνα με την πιο πρόσφατη επίσημη απογραφή του 2011.



Σχήμα 8 Αναλογία Πληθυσμού στην Ελλάδα Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ



Σχήμα 9 Εξέλιξη Πληθυσμού στην Ελλάδα και την Αττική Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ



Σχήμα 10 Ηλικιακή Πυραμίδα Αττικής Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

### Γεωγραφικά στοιχεία

Βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας και έχει τριγωνικό σχήμα. Έχει έκταση 3.808 χλμ<sup>2</sup> και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας. Εκτός από την Αθήνα, εντός της περιφέρειας υπάρχουν οι πόλεις της Ελευσίνας, των Μεγάρων, του Λαυρίου, και του Μαραθώνα, καθώς και ένα μικρό μέρος της Πελοποννήσου και τα νησιά Σαλαμίνα, Αίγινα, Πόρο, Ύδρα, Σπέτσες, Κύθηρα και Αντικύθηρα. Περίπου 3.750.000 άνθρωποι ζουν στην περιοχή, εκ των οποίων περισσότερο από το 95% είναι κάτοικοι της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας.

Γεωγραφικά, η Αττική χωρίζεται σε δύο μεγάλες υποενότητες, την περιοχή την πρωτεύουσας και το υπόλοιπο Αττικής. Η περιοχή της πρωτεύουσας περιλαμβάνει όλους τους δήμους Αθηνών-Πειραιώς και οριοθετείται από το Σαρωνικό κόλπο και τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηττού και της Πεντέλης, που ορίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής. Το υπόλοιπο Αττικής καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της περιφέρειας και αποτελείται από το ανατολικό και δυτικό τμήμα, τα νησιά του Σαρωνικού και την επαρχία Τροιζηνίας που βρίσκεται στην Πελοπόννησο.

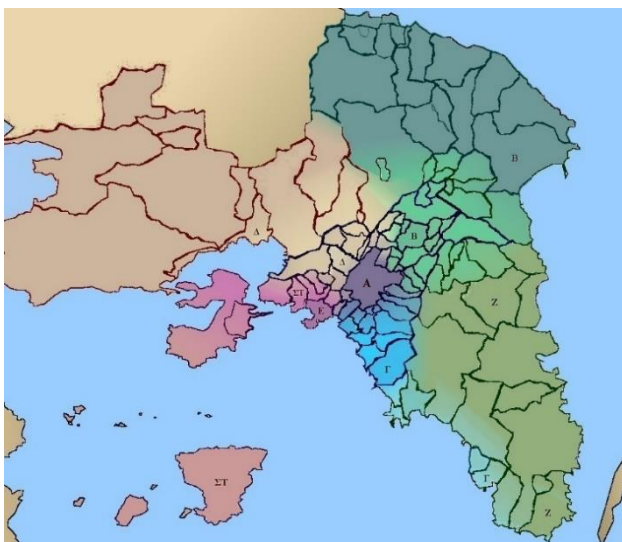
### Κλίμα

Το κλίμα της Αττικής χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό και είναι γενικά ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παρ'όλα αυτά, έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στο εύρος των θερμοκρασιών μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 18,3 βαθμούς Κελσίου.

### Οικονομικά στοιχεία

Η Περιφέρεια Αττικής, με έδρα την Αθήνα, παράγει 38% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, στην περιφέρεια παράγεται 3,2% του προϊόντος του αγροτικού τομέα της χώρας, 38% της μεταποίησης (ποσοστό αυξανόμενο τα τελευταία χρόνια) και 41% των υπηρεσιών. Έχει το 5ο χαμηλότερο ποσοστό ανεργίας στη χώρα, μετά την άνοδο κατά 0,6 μονάδες το 2004 στο 9,2% του εργατικού δυναμικού με μέσο χώρας 10,5%. Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011, ο απασχολούμενος πληθυσμός της Περιφέρειας Αττικής ανέρχεται σε 1.452.203 κατοίκους και οι άνεργοι σε 319.359 κατοίκους. Ωστόσο, είναι πολύ πιθανόν λόγω της οικονομικής κρίσης των τελευταίων χρόνων οι άνεργοι να έχουν αυξηθεί κατά πολύ μεγάλο ποσοστό. Η οικονομία της περιοχής μελέτης, βασίζεται κυρίως στο δευτερογενή και τριτογενή τομέα και έπειτα στον πρωτογενή τομέα παραγωγής. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο κλάδος του εμπορίου απασχολεί το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της Αττικής, ενώ ακολουθούν η δημόσια διοίκηση και οι μεταποιητικές βιομηχανίες.

### Ζώνες

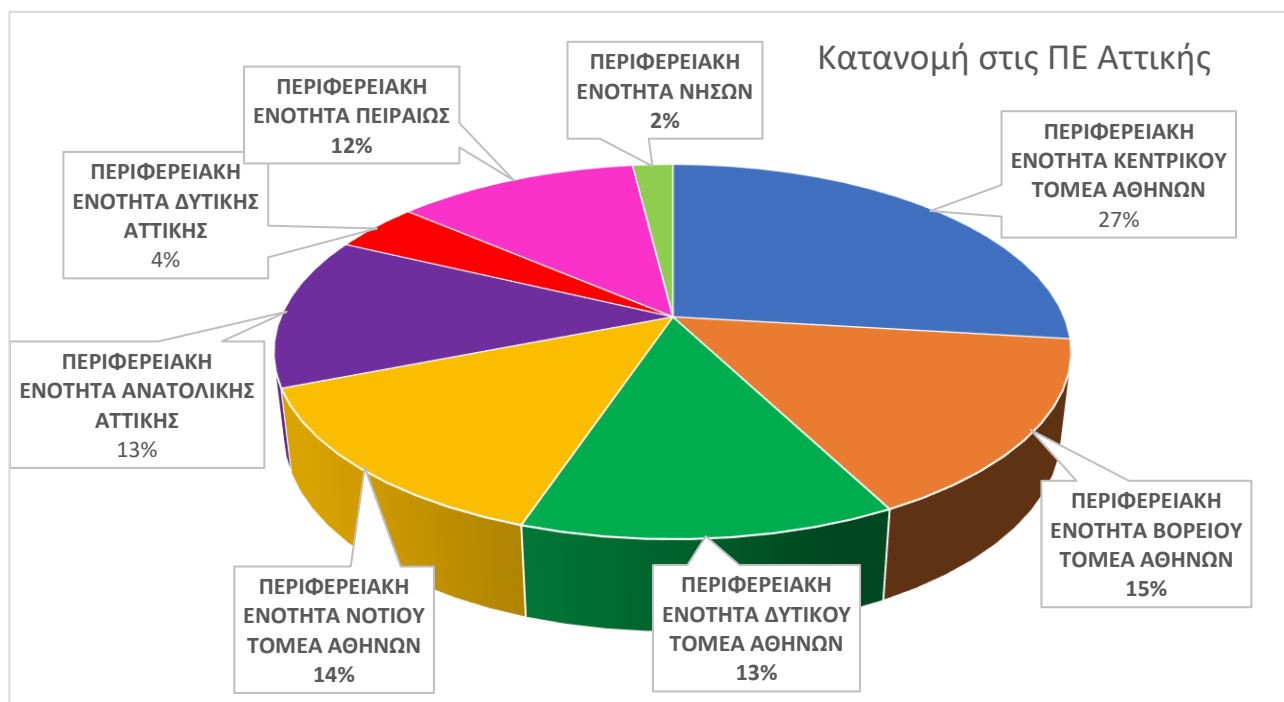


Εικόνα 18 Οι ζώνες της Αττικής

Η Αττική, για τις ανάγκες αναλυτικής ή συγκεντρωτικής μελέτης της χωρίζεται άτυπα σε επτά ζώνες, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία γεωγραφικής, κοινωνικοοικονομικής και ιστορικής φύσεως. Στη ζώνη Α' εντάσσεται η Πόλη των Αθηνών, στη Β' η Βορειοανατολική Αττική, στη ζώνη Γ' βρίσκουμε τη Νοτιοανατολική Αττική και στη ζώνη Δ' τη Δυτική Αττική. Στη ζώνη Ε' εντοπίζεται η Πόλη του Πειραιά και στη ΣΤ' τα νησιά του Αργοσαρωνικού. Τέλος στη ζώνη Ζ' εντάσσονται τα Μεσόγεια και η Λαυρεωτική.



## Διοικητική διαίρεση



Σχήμα 11 Κατανομή Πληθυσμού στις Π.Ε. Αττικής Πηγή: Βικιπαίδεια

Η Περιφέρεια Αττικής, σύμφωνα με το πρόγραμμα «Καλλικράτης», το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή από την 1η Ιανουαρίου 2011, διαιρείται διοικητικά σε 8 περιφερειακές ενότητες και συνολικά 66 καλλικρατικούς δήμους. Συγκεκριμένα:

**Κεντρικού Τομέα Αθηνών:** Δήμος Αθηναίων · Δήμος Βύρωνος · Δήμος Γαλασίου · Δήμος Δάφνης-Υμηττού · Δήμος Ζωγράφου · Δήμος Ηλιούπολης · Δήμος Καισαριανής · Δήμος Φιλαδελφείας-Χαλκηδόνας

**Νοτίου Τομέα Αθηνών:** Δήμος Αγίου Δημητρίου · Δήμος Αλίμου · Δήμος Γλυφάδας · Δήμος Ελληνικού-Αργυρούπολης · Δήμος Καλλιθέας · Δήμος Μοσχάτου-Ταύρου · Δήμος Νέας Σμύρνης · Δήμος Παλαιού Φαλήρου

**Βορείου Τομέα Αθηνών:** Δήμος Αγίας Παρασκευής · Δήμος Αμαρουσίου · Δήμος Βριλησίων · Δήμος Ηρακλείου · Δήμος Κηφισιάς · Δήμος Λυκόβρυσσης-Πεύκης · Δήμος Μεταμορφώσεως · Δήμος Νέας Ιωνίας · Δήμος Παπάγου-Χολαργού · Δήμος Πεντέλης · Δήμος Φιλοθέης-Ψυχικού · Δήμος Χαλανδρίου

**Δυτικού Τομέα Αθηνών:** Δήμος Αγίας Βαρβάρας · Δήμος Αγίων Αναργύρων-Καματερού · Δήμος Αιγάλεω · Δήμος Ιλίου · Δήμος Περιστερίου · Δήμος Πετρούπολης · Δήμος Χαϊδαρίου

**Πειραιώς:** Δήμος Πειραιώς · Δήμος Νίκαιας-Αγίου Ιωάννη Ρέντη · Δήμος Κορυδαλλού · Δήμος Κερατσινίου-Δραπετσώνας · Δήμος Περάματος

**Νήσων Αττικής:** Δήμος Αγκιστρίου · Δήμος Αίγινας · Δήμος Κυθήρων · Δήμος Πόρου · Δήμος Σαλαμίνας · Δήμος Σπετσών · Δήμος Τροιζηνίας · Δήμος Ύδρας

**Δυτικής Αττικής:** Δήμος Ασπροπύργου · Δήμος Ελευσίνας · Δήμος Μάνδρας-Ειδυλλίας · Δήμος Μεγαρέων · Δήμος Φυλής

**Ανατολικής Αττικής:** Δήμος Αχαρνών · Δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης · Δήμος Γλυφάδας · Δήμος Διονύσου · Δήμος Κρωπίας · Δήμος Λαυρεωτικής · Δήμος Μαραθώνος · Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας · Δήμος Παιανίας · Δήμος Παλλήνης · Δήμος Ραφήνας-Πικερμίου · Δήμος Σαρωνικού · Δήμος Σπάτων-Αρτέμιδος · Δήμος Ωρωπού

## 5.2 Η επιλογή της Αττικής

Η περιοχή της Αττικής επιλέχθηκε λόγω του μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος το οποίο πηγάζει από το μεγαλύτερο δείκτη πυκνοκατοίκησης στον ελλαδικό χώρο, με το 35.40% του ελληνικού πληθυσμού να κατοικεί σε αυτή. Η πόλη της Αθήνας, η οποία εντάσσεται στη περιφέρεια Αττικής εξελίσσεται διαρκώς και επεκτείνεται κυρίως από το κέντρο της προς τα προάστια, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες. Συνέχεια παρουσιάζονται νέες προκλήσεις με την αύξηση του πληθυσμού και των αναγκών του. Ακόμα, η δημιουργία νέων υποδομών όπως οδικό δίκτυο, επέκταση των σταθμών του μετρό, καθώς επίσης και νέες αναπλάσεις, Φαληρικό Μέτωπο, περιοχή του πρωην αεροδρομίου στο Ελληνικό κ.α., καθιστούν επιβεβλημένη τη μελέτη της αστικότητας στην περιοχή της Αττικής. Η πρόβλεψη επομένως της αστικής διάχυσης, είναι πολύ σημαντική για τη συγκεκριμένη περιοχή ώστε να γίνουν οι κατάλληλοι σχεδιασμοί για μια βιώσιμη ανάπτυξη της πόλης της Αθήνας.

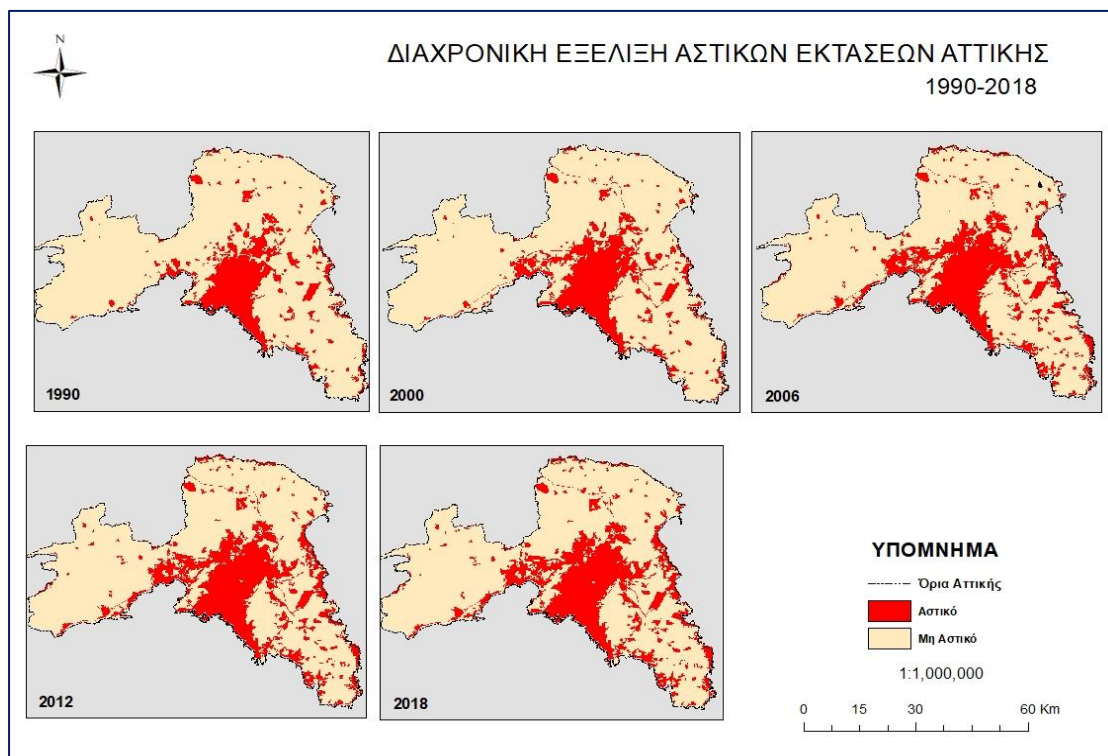
Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλοί ακόμα λόγοι που η Αττική επιλέχθηκε για να μελετηθεί η αστική της ανάπτυξη. Αρχικά είναι μια περιοχή της Ελλάδας για την οποία είναι εύκολη η πρόσβαση σε δεδομένα, σε έρευνες και σε πληροφορίες. Έχει ήδη επιλεχθεί πολλές φορές ως περιοχή μελέτης και έτσι υπάρχουν αρκετά συμπεράσματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ακόμα, η Αττική αποτελεί την περιοχή με τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή συγκέντρωση, κάτι που θα δικαιολογούσε μία έντονη και σταθερή αστική ανάπτυξη ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του πληθυσμού. Φυσικά, στην Αττική έχουν παρατηρηθεί αξιοσημείωστες προσθήκες αστικών σημείων, αεροδρόμιο, εγκαταστάσεις, οδικό δίκτυο, μετρό κ.α., ιδιαίτερα κατά την περίοδο των ολυμπιακών αγώνων, υπάρχει όμως και μία στασιμότητα κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον η μελέτη των αποτελεσμάτων όλων αυτών και πώς αποτυπώθηκαν χωρικά στην αστική ανάπτυξη της Αττικής. Τέλος, η Αττική αποτελεί μία περιοχή με γνωστή μορφολογία, αστική πυκνότητα και ιστορικό αστικής εξάπλωσης και έτσι θεωρήθηκε κατάλληλη επιλογή, καθώς θα μπορούσαν να γίνουν περισσότερο αντιληπτές οι οποιεσδήποτε αλλαγές συνέβησαν ή και θα προβλεφτεί ότι θα συμβούν.

## 5.3 Εξέλιξη αστικής ανάπτυξης στην Αττική

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαχρονικά δεδομένα από τα οποία, σε συνδυασμό και με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μεταβλητές, θα εκπαιδευτεί το νευρωνικό δίκτυο που περιγράφηκε παραπάνω.

Από τις παρακάτω απεικονίσεις φαίνεται η εξέλιξη του αστικού ιστού στην Αττική από το 1990 έως το 2018. Παρατηρούμε πως υπήρξε έκρηξη της αστικότητας την περίοδο 2000-2006, κάτι αναμενόμενο καθώς η οικονομική ανάπτυξη εκείνη την περίοδο αποτυπώθηκε στην Αττική μέσω της αυξημένης οικοδομικής δραστηριότητας και της προετοιμασίας της περιοχής για τη διοργάνωση των Ολυμπιακών Αγώνων.

Φαίνεται ότι η Αττική αναπτύχθηκε και προς τα ανατολικά και προς τα δυτικά, όπως επίσης επεκτάθηκε και ο κεντρικός αστικός της ιστός. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει αστική ανάπτυξη η περιοχή της Ελευσίνας, ο Ασπρόπυργος, τα Μέγαρα, η ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων, ο Μαραθώνας και η περιοχή γύρω από την Πεντέλη και τον Διόνυσο.

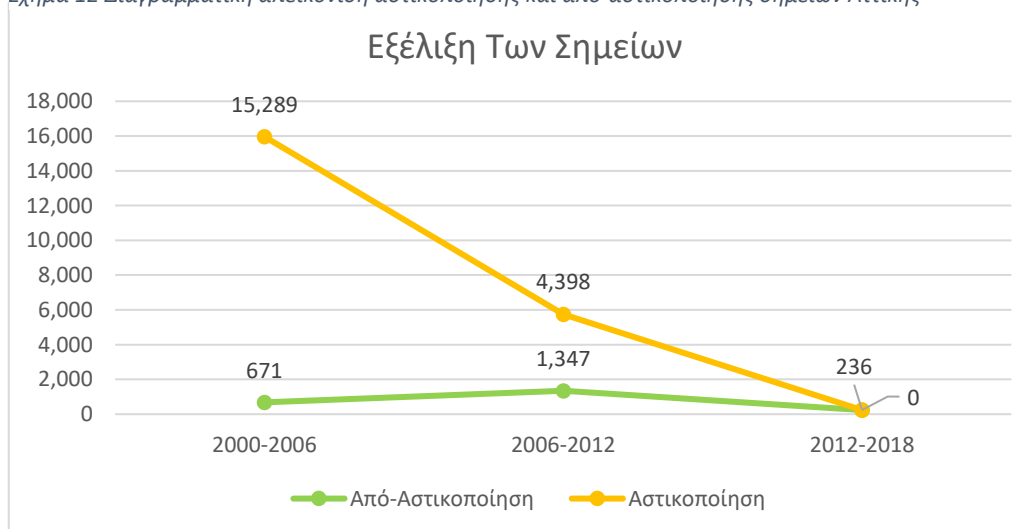


Εικόνα 19 Διαχρονική αστική εξέλιξη της Αττικής 1990-2018

Αντιθέτως, αν παρατηρήσει κανείς τις δύο τελευταίες εικόνες δεν θα δει σχεδόν καμία διαφορά, διότι λόγω της οικονομικής στασιμότητας δεν υπήρξε αξιοσημείωτη αύξηση της περιοχής με αστική κάλυψη.

Η εξέλιξη των αστικών σημείων, από το 2000 έως το 2018, έχει κατά κύριο λόγο ανοδική πορεία. Συγκεκριμένα το 2000, τα αστικά σημεία ήταν 55.462, ενώ παρατηρήθηκε πάρα πολύ μεγάλη αύξηση μέχρι το 2006, καθώς τα αστικά ήταν πλέον 70.751. Το 2012 υπήρξε και πάλι αύξηση των αστικών σημείων αλλά με μικρότερη ένταση, καθώς τα αστικά σημεία ήταν πλέον 75.149. Την περίοδο 2012-2018 τα αστικά σημεία παρουσίασαν μείωση, υπήρξε δηλαδή αύξηση της από-αστικοποίησης και μηδενισμός της αστικοποίησης. Ο νέος αριθμός αστικών σημείων ήταν 75.042. Σχετικά με την από-αστικοποίηση, τα δεδομένα δείχνουν ότι την περίοδο 2000-2006 από-αστικοποιήθηκαν 671 σημεία, την περίοδο 2006-2012, 1.347 σημεία, ενώ την περίοδο 2012-2018, 236 σημεία.

Σχήμα 12 Διαγραμματική απεικόνιση αστικοποίησης και από-αστικοποίησης σημείων Αττικής



## 6. Μεθοδολογία Εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης της Αττικής. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλα **λογισμικά**. Θα χρειαστούν **δεδομένα** για την περιοχή της Αττικής και θα πρέπει να επιλεγούν συγκεκριμένες παράμετροι/ **μεταβλητές** από τις οποίες το νευρωνικό δίκτυο που θα δημιουργηθεί, θα “μάθει” τους κανόνες της αστικής ανάπτυξης και στη συνέχεια θα κάνει προβλέψεις για τα επόμενα χρόνια.

### 6.1 Λογισμικό

Για την ολοκλήρωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 2 βασικά λογισμικά.

Αρχικά τα δεδομένα επεξεργάστηκαν σε ένα περιβάλλον GIS. Επιλέχτηκε το ArcGIS καθώς είναι ευκολότερο στη χρήση του και οι εντολές του είναι περισσότερο γνωστές. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ένα περιβάλλον στο οποίο μπορεί να αναπτυχθεί και να λειτουργήσει ένας κώδικας σε γλώσσα Python. Επιλέχθηκε το δημοφιλές περιβάλλον του PyCharm.

#### 6.1.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

**Το ArcGIS** είναι ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (**GIS**) για εργασία με χάρτες και γεωγραφικές πληροφορίες, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την Esri. Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και χρήση χαρτών, τη συλλογή γεωγραφικών δεδομένων, την ανάλυση χαρτογραφημένων πληροφοριών, την κοινή χρήση και την εύρεση γεωγραφικών πληροφοριών, τη χρήση χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών σε μια σειρά εφαρμογών και τη διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών σε μια βάση δεδομένων. Το σύστημα παρέχει μια υποδομή για τη διάθεση χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών σε έναν οργανισμό, σε μια κοινότητα και ανοιχτά στον Ιστό.

Πιο γενικά ένα γεωγραφικό σύστημα περιέχει δύο περιβάλλοντα, το περιγραφικό, το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες για τα δεδομένα και το γεωραφικό, το οποίο περιέχει τα επίπεδα που χρησιμοποιούνται, δηλαδή την γεωμετρική πληροφορία των δεδομένων.

Χρησιμοποιείται για την χωρική ανάλυση, απαντά σε γεωγραφικά/γεωμετρικά προβλήματα, επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών σεναρίων και βοηθάει στη λήψη αποφάσεων.

Τα Σ.Γ.Π. έχουν 4 στάδια λειτουργίας:

1. Εισαγωγή: προσθήκη θεματικών επιπέδων, διανυσματικών (vector) ή ψηφιδωτών-εικόνων (raster)
2. Διαχείριση: Διόρθωση γεωμετρικής και περιγραφικής πληροφορίας
3. Ανάλυση: Μίξη των θεματικών επιπέδων (των θέσεων και των περιγραφών τους)
4. Απόδοση: Δημιουργία χαρτών, εικόνων, διαγραμμάτων κ.α.

Βασικά στοιχεία ενός Σ.Γ.Π. είναι τα εξής:

- Λειτουργεί με βάση την θεώρηση ότι ο κόσμος αποτελείται από έναν αριθμό από διαφορετικά θεματικά επίπεδα
- Κάθε δεδομένο που εισάγεται έχει ένα πινάκα που περιλαμβάνει τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του, ενώ τα γεωμετρικά του υπολογίζονται από το ίδιο το Σ.Γ.Π.
- Υπάρχει η δυνατότητα της τοπολογίας, η οποία απαντά στα γεωμετρικά ερωτήματα για το που βρίσκεται μία οντότητα, τι υπάρχει γύρω της και ποια είναι η σχέση της με τις γειτονικές της οντότητες
- Η δυνατότητα της επικάλυψης (overlay). Την ένωση-επίθεση των περιγραφικών και γεωμετρικών πληροφοριών των θεματικών επιπέδων. Λειτουργία που ξεχωρίζει τα Σ.Γ.Π. από τα προγενέστερα σχεδιαστικά λογισμικά (CAD)

Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα πληροφοριακό σύστημα-λογισμικό, μία χωρική βάση δεδομένων και φυσικά από τις γνώσεις ενός χρήστη.

### 6.1.2 Περιβάλλον PyCharm

Το PyCharm είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που χρησιμοποιείται στον προγραμματισμό υπολογιστών, ειδικά για τη γλώσσα Python. Περιέχει μεταξύ άλλων ανάλυση κώδικα, ένα πρόγραμμα εντοπισμού σφαλμάτων γραφικών και μια ενσωματωμένη μονάδα ελέγχου. Το PyCharm Community Edition, η έκδοση ανοιχτού κώδικα του PyCharm, έγινε διαθέσιμη στις 22 Οκτωβρίου 2013.

Παρέχει έξυπνη ολοκλήρωση κώδικα, επιθεωρήσεις κώδικα, επισημάνση σφαλμάτων εν κινήσει και γρήγορες επιδιορθώσεις, καθώς και αυτοματοποιημένες αναδιαμορφώσεις κώδικα και πλούσιες δυνατότητες πλοήγησης.

Η Python είναι μια διερμηνευτική, υψηλού επιπέδου και γενικής χρήσης, γλώσσα προγραμματισμού. Η φιλοσοφία σχεδιασμού της Python δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα του κώδικα με την αξιοσημείωτη χρήση σημαντικού κενού χώρου. Οι γλωσσικές κατασκευές - δομές ελέγχου που περιέχει και η αντικειμενοστρεφής της προσέγγιση στοχεύουν να βοηθήσουν τους προγραμματιστές να γράψουν σαφή, λογικό κώδικα για να επιλύσουν μικρά και μεγάλα ζητήματα. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις κοινότητες των προγραμματιστών, καθώς είναι εύκολη στη χρήση και προσφέρει εργαλεία για γρήγορο προγραμματισμό, καθώς είναι δημιουργημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί γρήγορα.

Διαθέτει μεγάλο δίκτυο υποστήριξης μέσω του διαδικτύου, από χρήστες σε όλο τον ανεπτυγμένο κόσμο. Υπάρχει πλήθος βιβλιοθηκών για την ανάπτυξη κώδικα μαθηματικής φύσης όπως και προγραμμάτων για μηχανική μάθηση. Πολλές από αυτές έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία της Google. Είναι λοιπόν μία σύγχρονη γλώσσα, η οποία κρίνεται η πλέον κατάλληλη για τη δημιουργία ενός νευρωνικού δικτύου, όπως φαίνεται και από τη βιβλιογραφία που έχει μελετηθεί.

## 6.2 Δεδομένα

Η επιλογή των δεδομένων έγινε μέσα από το πρόγραμμα Copernicus. Το πρόγραμμα της ευρωπαϊκής ένωσης για την παρακολούθηση της Γης με την οικογένεια των δορυφόρων Sentinel. Το Copernicus είναι το πρόγραμμα γεωσκόπησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο παρατηρεί το περιβάλλον και τον πλανήτη μας προς όφελος όλων των ευρωπαίων πολιτών. Παρέχει υπηρεσίες πληροφόρησης με βάση **δορυφορικά δεδομένα γεωσκόπησης και επίγεια (μη διαστημικά) δεδομένα**. Το συντονισμό και τη διαχείριση του προγράμματος έχει αναλάβει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες παγκόσμιων δεδομένων προερχόμενων από δορυφορικά και από επίγεια, αερομεταφερόμενα και θαλάσσια συστήματα μέτρησης, για την παροχή πληροφοριών που βοηθούν τους παρόχους υπηρεσιών, τις δημόσιες αρχές και άλλους διεθνείς οργανισμούς να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες πληροφοριών είναι **δωρεάν** και **ανοιχτές** στους χρήστες.

Πηγή: <https://www.copernicus.eu/en8>

### Corine Land Cover

Για τη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το αποθετήριο CORINE Land Cover (CLC). Το Corine Land Cover είναι μία συλλογή δεδομένων κάλυψης γης, η

οποία παρέχει συνεπείς και θεματικά λεπτομερείς πληροφορίες για την κάλυψη γης και τις αλλαγές κάλυψης γης σε όλη την Ευρώπη. Ανήκει στην πανευρωπαϊκή συνιστώσα της Υπηρεσίας Παρακολούθησης Γης του Copernicus (<https://land.copernicus.eu/>), μέρος του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus που συντονίζεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, παρέχοντας περιβαλλοντικές πληροφορίες από ένα συνδυασμό αέρα- και συστήματα διαστημικής παρατήρησης και επιτόπια παρακολούθηση. Ξεκίνησε το 1985 (έτος αναφοράς 1990) και από τότε έχει ανανεωθεί 4 φορές, 2000, 2006, 2012 και 2018. Έχουν προκύψει έτσι 5 διαφορετικά σύνολα δεδομένων για τις 4 αυτές χρονολογίες.

Τα σύνολα δεδομένων CLC βασίζονται στην ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων που παράγονται από τις αρμόδιες ομάδες των συμμετεχουσών χωρών - και τις συνεργαζόμενες χώρες. Στη συνέχεια, τα εθνικά αποθέματα CLC ενσωματώνονται περαιτέρω σε έναν απρόσκοπτο χάρτη κάλυψης γης της Ευρώπης. Η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (MMU) για επίπεδα κατάστασης είναι τα 25 εκτάρια και το ελάχιστο πλάτος των γραμμικών στοιχείων είναι 100 μέτρα.

Η υπηρεσία CLC παρέχει σημαντικά σύνολα δεδομένων που υποστηρίζουν την υλοποίηση βασικών τομέων προτεραιότητας των προγραμμάτων δράσης για το περιβάλλον της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως π.χ. προστασία των οικοσυστημάτων, διακοπή της απώλειας βιολογικής ποικιλομορφίας, παρακολούθηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, παρακολούθηση των αστικών γαιών, αξιολόγηση των εξελίξεων γεωργία ή που ασχολούνται με τις οδηγίες για τους υδάτινους πόρους. Το Corine land cover κατηγοριοποιεί την κάλυψη γης σε 44 κατηγορίες. Οι 5 βασικές από αυτές είναι 1.Τεχνητές Επιφάνειες, 2.Γεωργικές Εκτάσεις, 3.Δασικές και Φυσικές Περιοχές, 4.Υγρότοποι και 5.Υδάτινα Σώματα.

Πηγή: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα σύνολα δεδομένων για το 2000, το 2006, το 2012 και το 2018. Επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα για το έτος 1990 που ήταν διαθέσιμα καθώς το 1990 απέχει 10 χρόνια από το 2000 και όχι 6, όπως στις άλλες περιπτώσεις χρονολογιών.





Εικόνα 20 Corine Land Cover

Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα σε μορφή εικόνας (raster) και έγιναν **3 βασικά βήματα προεργασίας** για τις χρονιές 2000, 2006, 2012, 2018:

1. Η εικόνα κόπηκε στα όρια της Αττικής με βάση ένα διανυσματικό αρχείο (vector layer).
2. Οι 44 κατηγορίες κάλυψης γης του CLC μετασηματίστηκαν σε δυαδικό σύστημα αστικών και μη αστικών περιοχών που περιλαμβάνουν όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες, αστικές (1.Τεχνητές Επιφάνειες) και μη αστικές (2.Γεωργικές Εκτάσεις, 3.Δασικές και Φυσικές Περιοχές, 4.Υγρότοποι και 5.Υδάτινα Σώματα).
3. Η εικόνα της Αττικής (raster layer) μετατράπηκε σε διανυσματικό αρχείο από σημεία (vector point layer). Συγκεκριμένα κάθε pixel της εικόνας με διαστάσεις 100 x 100m αντικαταστάθηκε με από 1 σημείο, συνολικά η Αττική καλύφθηκε από 292.153 σημεία.

### 6.2.1 Διαδικασία

Η εργασία αυτή μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη

1. Προετοιμασία των δεδομένων που θα εισαχθούν στο νευρωνικό δίκτυο
2. Δημιουργία του νευρωνικού δικτύου, με την επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων ώστε να λειτουργεί με τον κατάλληλο τρόπο και να αντιλαμβάνεται τις μεταβλητές της αστικής ανάπτυξης, όπως ορίστηκαν παραπάνω.
3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης για το έτος 2024

### 6.2.2 Διαχωρισμός Δεδομένων

Αρχικά επιλέγονται και συγκεντρώνονται όσα δεδομένα θεωρούνται ότι είναι απαραίτητα για το πρόβλημα που μελετάται. Αυτά τα δεδομένα αποτελούν τα δεδομένα εισόδου (input data) για το δίκτυο. Γενικά, για να λειτουργήσει ένα δίκτυο ικανοποιητικά χρειάζεται αρκετά μεγάλο όγκο δεδομένων, χωρίς αυτό να σημαίνει όμως ότι όσο περισσότερα δεδομένα διατίθενται στο δίκτυο τόσο το καλύτερο, διότι αυτό ενδέχεται να αποβεί χρονοβόρο και δαπανηρό (Κυριλλίδης, 2017).

Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε 3 μέρη.

#### Σετ προπόνησης (train data)

Το ένα μέρος είναι το αρχείο εκπαίδευσης (training file), το οποίο είναι και το μεγαλύτερο, συνήθως το 70 % των δεδομένων. Χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει το μοντέλο. Κατά τη διάρκεια της προπόνησης, οι παράμετροι (ή τα βάρη) του μοντέλου προσαρμόζονται με έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια (loss) του μοντέλου.

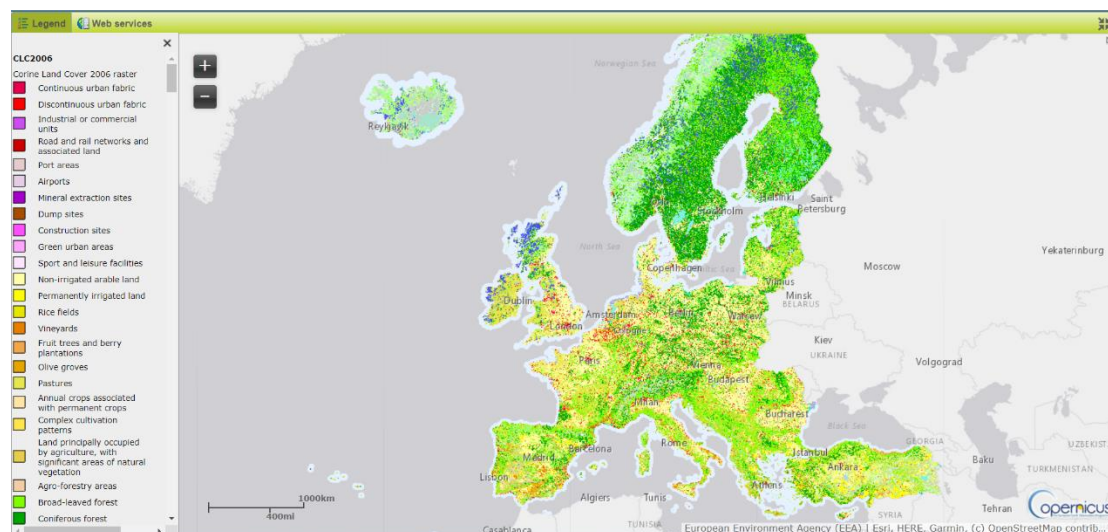
#### Σετ επικύρωσης (validation data)

Συνήθως το άλλο 15% των δεδομένων είναι το test file με το οποίο θα ελεγχθεί το δίκτυο και το οποίο πρέπει να διαχωριστεί από το σετ προπόνησης. Χρησιμοποιείται για το συντονισμό των υπερπαραμέτρων του μοντέλου και στοχεύει στην αποφυγή της υπερβολικής μάθησης. Η διαδικασία επικύρωσης πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της προπόνησης.

#### Σετ δοκιμών (test data)

Είναι το τελευταίο 15% των δεδομένων και πρέπει να διαχωριστεί από το σετ εκπαίδευσης και επικύρωσης. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ακρίβειας του εκπαιδευμένου και επικυρωτικού μοντέλου. Ο στόχος είναι να μετρηθεί η γενίκευση του μοντέλου.

Πρώτο βήμα ήταν να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στα δεδομένα. Για να γίνει αυτό, δημιουργήθηκε ένας λογαριασμός στην ιστοσελίδα του Copernicus. Με αυτόν τον τρόπο υπήρχε η δυνατότητα να ανακτηθούν τα δεδομένα raster για τις χρήσεις γης της Ευρώπης για τα έτη 2000, 2006, 2012, 2018.

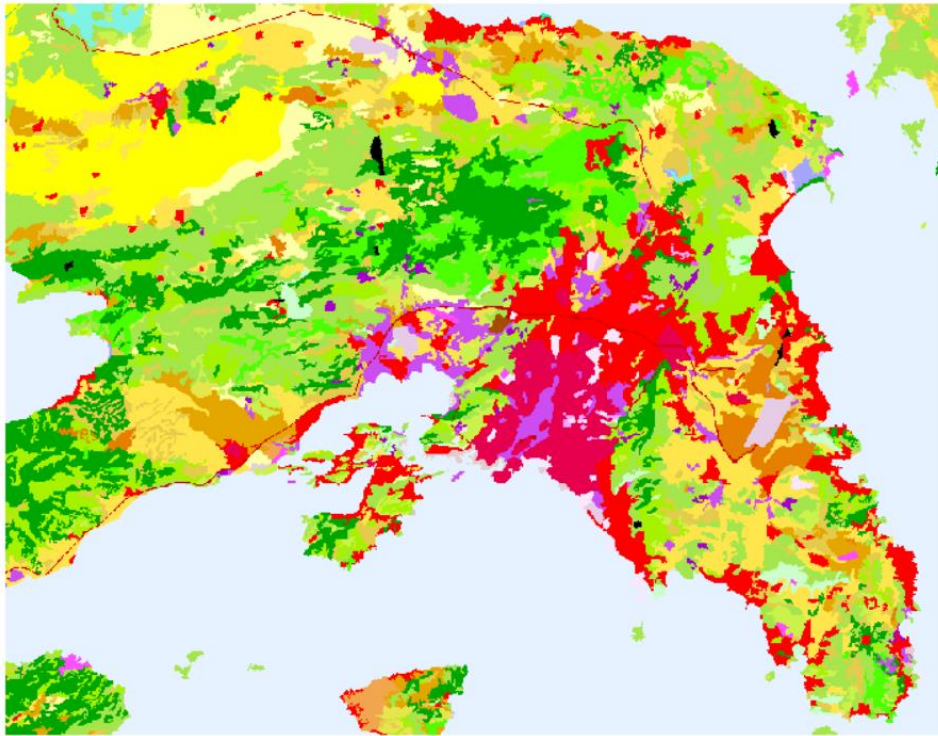


Εικόνα 21 Περιβάλλον της ιστοσελίδας του Copernicus

Για τα επόμενα βήματα που έγιναν στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό του ArcGIS. Στη συνέχεια, περιορίστηκε η περιοχή μελέτης στα όρια της Αττικής όπως φαίνεται παρακάτω.

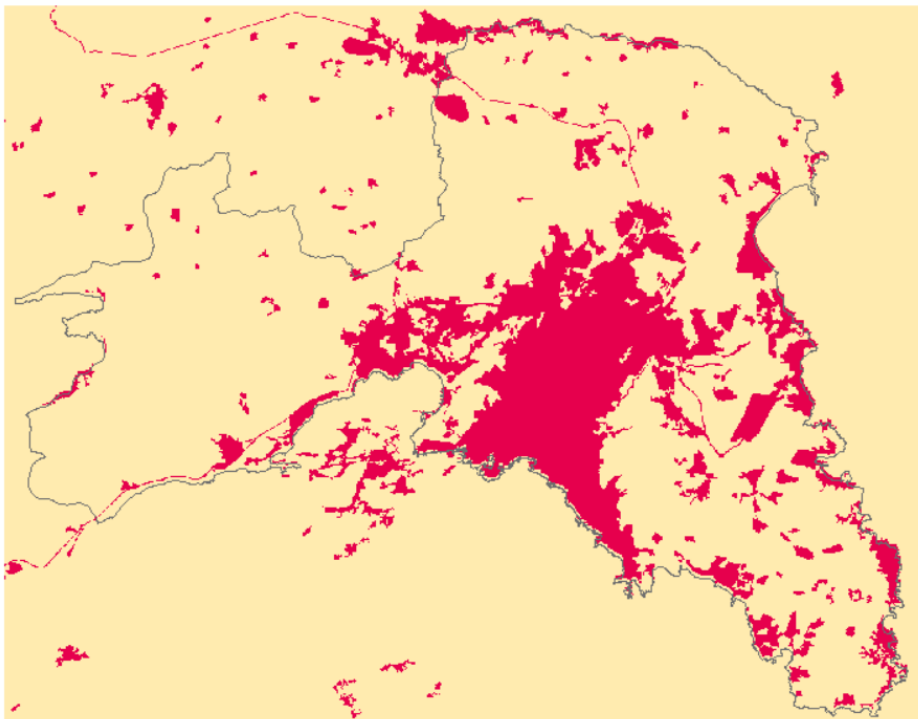
Από τους 66 δήμους της Αττικής με το πρόγραμμα Καλλικράτης που αναφέρθηκαν παραπάνω η περιοχή μελέτης της εργασίας θα είναι οι 58 δήμοι καθώς αφαιρέθηκαν οι 5 νησιωτικοί δήμοι της περιφέρειας Αττικής (Δήμοι Αγκιστρίου, Αίγινας, Κυθήρων, Πόρου, Σαλαμίνας, Σπετσών, Ύδρας), αφού λόγω της νησιωτικής φύσης τους δεν ισχύει η μεθοδολογία της εργασίας. Επίσης, αφαιρέθηκε ο δήμος Τροιζηνίας-Μεθάνων που βρίσκεται στην Πελοπόννησο και δεν ενώνεται με άλλους δήμους της περιφέρειας Αττικής από στεριά.

Μοντελοποίηση της Αστικής Εξέλιξης με τη χρήση μεθόδων Μηχανικής Μάθησης και GIS.  
Η περίπτωση της Αττικής



Εικόνα 22 Οι χρήσεις γης της Αττικής

Όλες οι κατηγορίες χρήσης γης αντικαταστάθηκαν από 2: αστικό και μη αστικό και έτσι προέκυψε η παρακάτω εικόνα. 1→ αστική περιοχή, 0→ μη αστική περιοχή



Εικόνα 23 Αστικές και μη-αστικές εκτάσεις της Αττικής

Στο επόμενο βήμα έπρεπε να αποφασιστεί με ποιόν τρόπο θα γίνει η εισαγωγή των δεδομένων στο νευρωνικό δίκτυο, έτσι ώστε να γίνει η κατάλληλη προετοιμασία τους. Αποφασίστηκε η εικόνα να μετατραπεί σε διανυσματικό επίπεδο και κάθε εικονοστοιχείο να αντικατασταθεί με ένα σημείο. Ο συνολικός αριθμός σημείων όλης της Αττικής είναι 292.153.

Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να υπολογιστούν οι μεταβλητές του νευρωνικού δικτύου για κάθε σημείο. Επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν τα εργαλεία του GIS.

### 6.3 Επιλογή μεταβλητών

Με βάση τη βιβλιογραφία και τις ευρωπαϊκές πρακτικές επιλέχθηκαν συγκεκριμένες μεταβλητές οι οποίες θα συμβάλουν στη διαχείριση του φαινομένου της αστικής ανάπτυξης. Ανεξάρτητες μεταβλητές που σχετίζονται με την εγγύτητα και τα χαρακτηριστικά χρήσης γης έχουν προταθεί για μοντελοποίηση χρήσης γης. Αρχικά, οι γεωφυσικές συνθήκες έχουν επιπτώσεις στην ανάπτυξη της αστικής γης. Οι περιοχές με περίπλοκη τοπογραφία ή απότομες πλαγιές υποτίθεται ότι έχουν χαμηλότερες πιθανότητες αστικοποίησης, λόγω του κόστους προσβασιμότητας και ανάπτυξης σε σύγκριση με τις επίπεδες περιοχές. Κατά κύριο λόγο οι ερευνητές χρησιμοποιούν σαν χωρικές μεταβλητές τις αποστάσεις από συγκεκριμένα γεωμορφολογικά φαινόμενα (λίμνες, ποτάμια).

Επιπλέον, οι δημογραφικοί παράγοντες (π.χ., πυκνότητα πληθυσμού, σύνθεση πληθυσμού ανά ηλικία και φύλο, μέγεθος νοικοκυριού, εισόδημα νοικοκυριού κ.λπ.) αποτελούν αξιοσημείωτους παράγοντες της αστικής ανάπτυξης, καθώς διαμορφώνουν τα πρότυπα αστικής ανάπτυξης. Η πυκνότητα του πληθυσμού, που σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα και την προσβασιμότητα της εργασίας και των αγορών, θεωρείται ευρέως ως σημαντικός παράγοντας για την αστική ανάπτυξη.

Ακόμα, λαμβάνοντας υπόψη τον απαραίτητο ρόλο των δικτύων μεταφορών στην περιοχή μελέτης, συχνά χρησιμοποιούνται τα επίπεδα του οδικού δικτύου και των μέσων μαζικής μεταφοράς. Στο μοντέλο θα περιλαμβάνονται ορισμένα μόνο χαρακτηριστικά τα οποία, είτε είναι πιο σημαντικά από άλλα, είτε διατίθενται δεδομένα για αυτά.

Στην περίπτωση της Αττικής επιλέχθηκαν να υπολογιστούν και να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω μεταβλητές για κάθε σημείο:

- Αρίθμηση
- Χρονιά
- Υψόμετρο
- Πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία
- Απόσταση από ακτογραμμή
- Απόσταση από πράσινους χώρους
- Απόσταση από σημεία αυξημένου ενδιαφέροντος
- Απόσταση από οδικό δίκτυο
- Απόσταση από στάση του δικτύου ΜΜΜ
- Αριθμός Οικοδομικών Αδειών
- Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν



### 6.3.1 Χωρικές Μεταβλητές

Όσον αφορά τα δεδομένα για το **υψόμετρο** του κάθε σημείου προήλθαν από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) από το διαδίκτυο ([geodata.gov.gr](http://geodata.gov.gr))

Για να υπολογιστεί η **πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία** δημιουργήθηκε ένα Python script στο οποίο υπολογίζεται και ο αριθμός των γειτονικών rixel ( $\leq 8$ ) και ο αριθμός των αστικών γειτονικών rixel ( $\leq 8$ ). Έπειτα, από αυτά τα δεδομένα προέκυψε η πυκνότητα αστικότητας για κάθε σημείο. Με αυτόν τον τρόπο, εκπαιδεύουμε το δίκτυο να μάθει όχι μόνο πώς εξελίσσεται κάθε χωρική μονάδα με την πάροδο του χρόνου, αλλά και πώς οι γειτονικές περιοχές έχουν επηρεάσει αυτές τις αλλαγές.

Οι **αποστάσεις** από την ακτογραμμή, τους πράσινους χώρους, τα σημεία ενδιαφέροντος και το οδικό δίκτυο υπολογίστηκαν μία φορά, ενώ οι αποστάσεις από τις στάσεις των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς υπολογίστηκαν για κάθε διαφορετική χρονιά 2000, 2006, 2012, 2018, καθώς υπήρχαν προσθήκες στο δίκτυο των στάσεων των ΜΜΜ.

Για τον υπολογισμό των αποστάσεων αυτών, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο της κοντινότερης απόστασης, (near distance) . Η φιλοσοφία του εργαλείου αυτού βασίζεται στο γεγονός ότι για κάθε σημείο υπολογίζεται η απόσταση του μόνο από το κοντινότερο αντικείμενο του επιπέδου από το οποίο θέλουμε να βρούμε τις αποστάσεις. Αυτό συμβαίνει για κάθε σημείο της Αττικής και για όλες τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν.

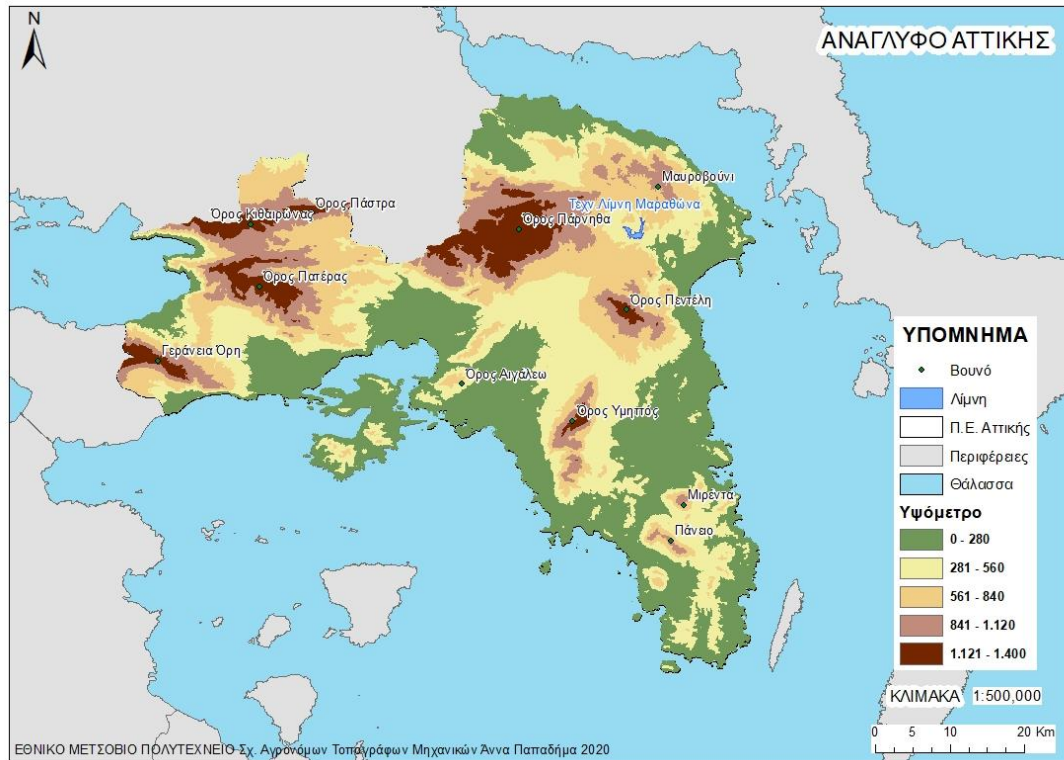
### 6.3.2 Κοινωνικές Μεταβλητές

Το **Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν** (ή ΑΕΠ) (αγγλ. *Gross Domestic Product - GDP*) αποτελεί το κυριότερο μακροοικονομικό μέγεθος. Ο βασικός στόχος μέτρησής του είναι η απόκτηση ενός μέτρου της συνολικής ποσότητας αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται για την αγορά σε μία δεδομένη χώρα, κατά μία δεδομένη χρονική περίοδο. Ορίζεται ως η συνολική αγοραία αξία όλων των τελικών προϊόντων και υπηρεσιών που παράγονται σε μια χώρα στη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. (<https://el.wikipedia.org>)

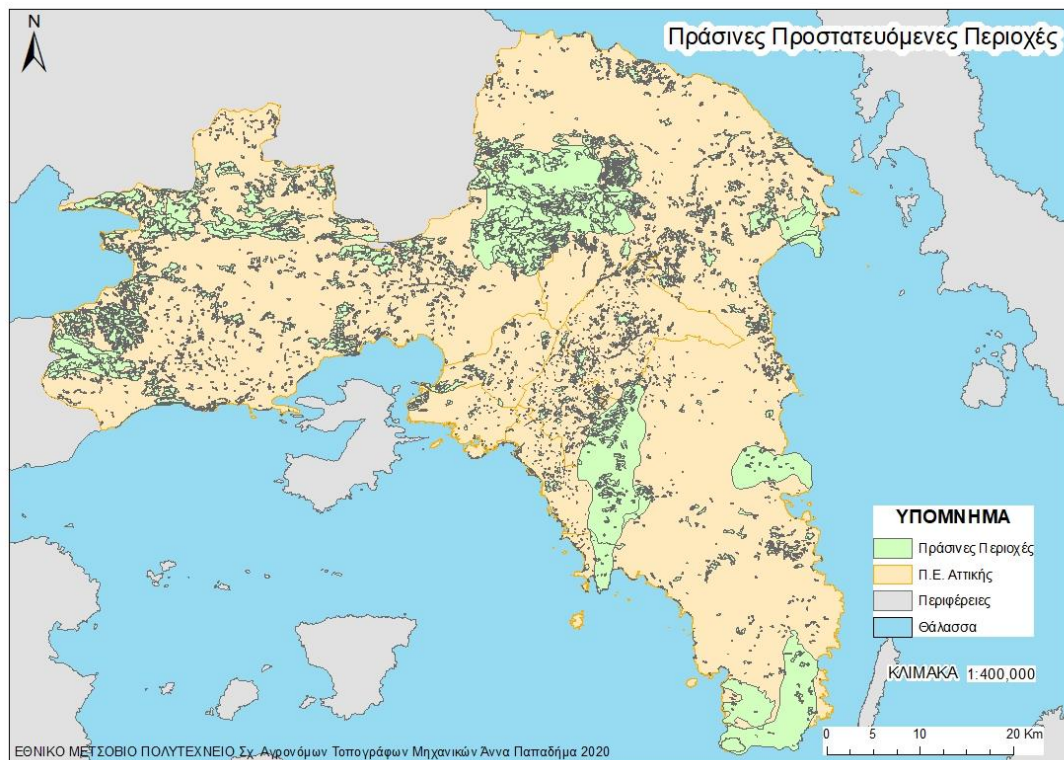
Τα δεδομένα για το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν προήλθαν από την ιστοσελίδα των Ηνωμένων Εθνών για τις 4 χρονολογίες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. <https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic>

Η πληροφορία των **οικοδομικών αδειών** ανά έτος προήλθε από την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Με αυτήν την πληροφορία για την οικοδομική δραστηριότητα στην Αττική μπορούμε να έχουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την οικονομία και την κατάσταση των επενδύσεων, κάτι που βοηθάει στη μοντελοποίηση της πραγματικότητας σχετικά με την αστική ανάπτυξη, έτσι ώστε να προκύψει και μία περισσότερο αναμενόμενη πρόβλεψη. (<https://www.statistics.gr/>)





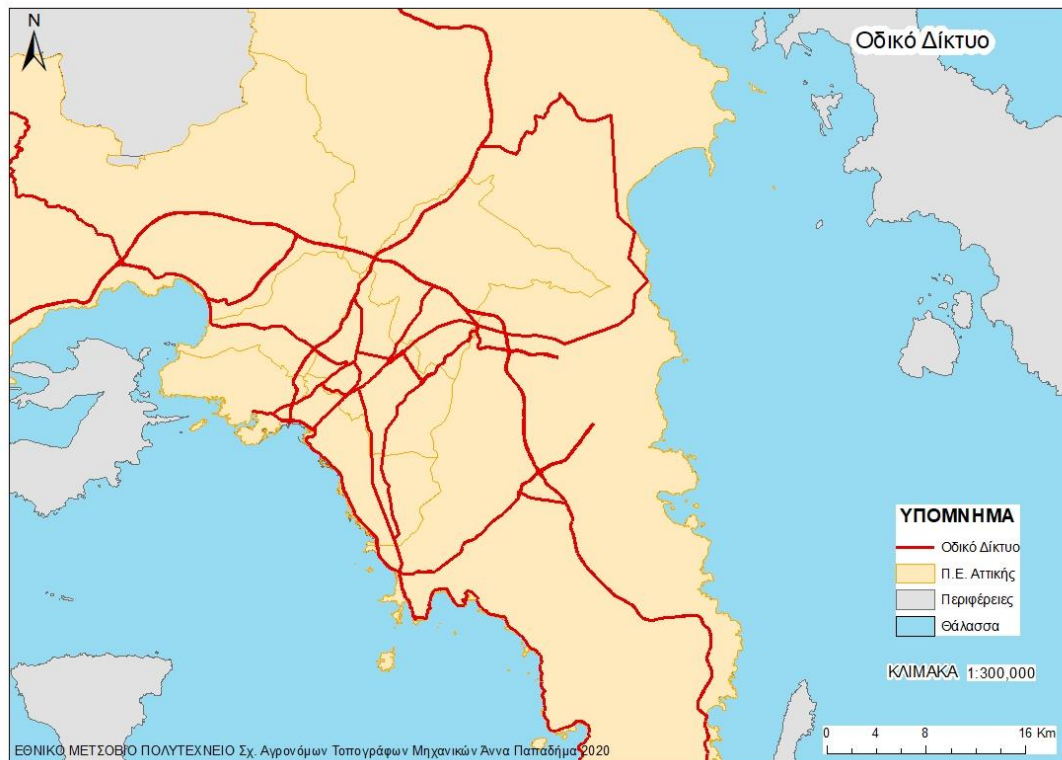
Εικόνα 24 Ανάγλυφο Αττικής



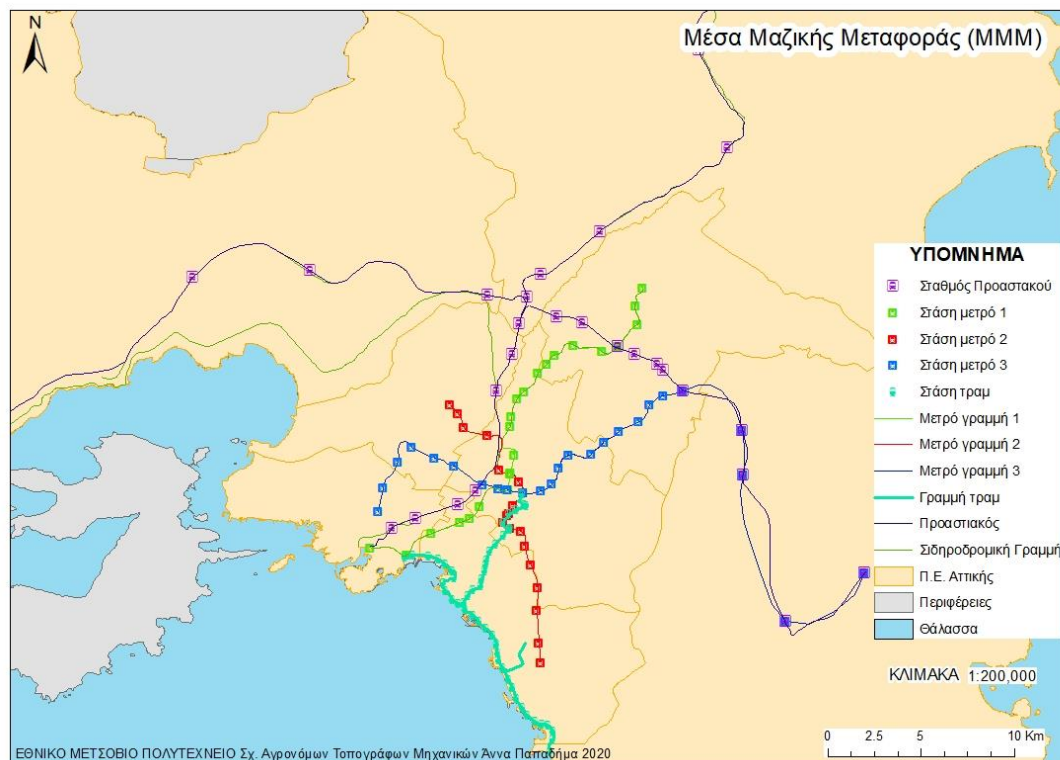
Εικόνα 25 Πράσινες Προστατευόμενες Περιοχές Αττικής



Εικόνα 26 Σημεία ενδιαφέροντος της Αττικής



Εικόνα 27 Οδικό δίκτυο Αττικής



Εικόνα 28 Δίκτυο μέσων μαζικής μεταφοράς Αττικής

Τα θεματικά επίπεδα (shapefiles) και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που περιέχει τα υψόμετρα της Αττικής (DEM), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των παραπάνω χαρτών έγιναν με δεδομένα από το διαδίκτυο.

Το geodata.gov.gr προσφέρει **ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα και υπηρεσίες** για την Ελλάδα, αποτελώντας έναν εθνικό **κατάλογο** ανοικτών δεδομένων, μία Υποδομή Γεωχωρικών Πληροφοριών, καθώς και μία ισχυρή υποδομή για την παροχή υπηρεσιών από ανοικτά δεδομένα. Σε λειτουργία από το 2010, το geodata.gov.gr ήταν ένας από τους πρώτους καταλόγους ανοικτών δεδομένων στον κόσμο, συνεισφέροντας στην ανοικτή διακυβέρνηση σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Πηγή: <https://geodata.gov.gr/>

## 6.4 Νευρωνικό Δίκτυο

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, είχαν πλέον συγκεντρωθεί όλες οι μεταβλητές που αποφασίστηκαν. Επόμενο στάδιο ήταν η κατασκευή του κατάλληλου νευρωνικού δικτύου.

### 6.4.1 Κανονικοποίηση

Τα νευρωνικά δίκτυα βαθιάς μάθησης μαθαίνουν πώς να χαρτογραφούν εισόδους σε εξόδους από παραδείγματα, σε ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Τα βάρη του μοντέλου αρχικοποιούνται σε μικρές τυχαίες τιμές και ενημερώνονται μέσω ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης με εκτιμήσεις σφάλματος στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Η κλίμακα των εισόδων και εξόδων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του μοντέλου είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Οι μη κλιμακωτές μεταβλητές εισόδου μπορεί να οδηγήσουν σε μια αργή ή ασταθή διαδικασία μάθησης, όπως και οι μη κλιμακωτές μεταβλητές στόχου σε προβλήματα παλινδρόμησης, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε έκρηξη κλίσεων προκαλώντας την αποτυχημένη διαδικασία μάθησης. Η προετοιμασία δεδομένων περιλαμβάνει τη χρήση τεχνικών, όπως η κανονικοποίηση για τον επαναπροσδιορισμό των



μεταβλητών εισόδου και εξόδου πριν από την εκπαίδευση ενός μοντέλου νευρωνικού δικτύου. Αν τα δεδομένα βρίσκονται σε διαφορετικές τάξεις μεγέθους (π.χ. χιλιάδες, δεκάδες) πρέπει να κανονικοποιηθούν στην κλίμακα 0-1 ή στην κλίμακα 0,1-0,9 ώστε να αντιμετωπίζονται από το νευρωνικό δίκτυο ισότιμα. Εφόσον τα βασικά δεδομένα του προβλήματος που μελετάται είναι 0 και 1, επιλέγεται το διάστημα κανονικοποίησης (0-1).

Θα χρησιμοποιηθεί ένα **Multilayer Perceptron νευρωνικό δίκτυο**, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των επιβλεπόμενων νευρωνικών δικτύων

**Επιβλεπόμενα νευρωνικά δίκτυα**, ονομάζονται τα δίκτυα όπου το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι γνωστό και έτσι η εκπαίδευση γίνεται προσπαθώντας να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα του αποτελέσματος που βγάζει το νευρωνικό δίκτυο. Το **σφάλμα** εκφράζει τη σχέση του επιθυμητού αποτελέσματος και του αποτελέσματος που προκύπτει από το δίκτυο.

Σε αυτά η εκπαίδευση γίνεται αλλάζοντας τα βάρη στους νευρώνες. Η αλλαγή αυτή βασίζεται στο μέγεθος του σφάλματος που προκύπτει. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου τα βάρη προσαρμοστούν και το αποτέλεσμα του νευρωνικού δικτύου είναι σε αποδεκτά επίπεδα σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **backpropagation**.

#### 6.4.2 Αρχιτεκτονική

Δημιουργείται ένα συνεχές (**Sequential**) νευρωνικό δίκτυο. Ένα **Multilayer Perceptron τριών επιπέδων**. Ανάμεσα στο input layer που δέχεται τα δεδομένα και στο output layer που δίνει τα αποτελέσματα υπάρχουν ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα (hidden layers). Το πόσα κρυμμένα επίπεδα θέτονται εξαρτάται από το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται. Για το ίδιο πρόβλημα το δίκτυο κατασκευάζεται παραπάνω από μια φορές, ώστε να δοκιμασθούν δίκτυα με διαφορετικό αριθμό κρυμμένων επιπέδων και διαφορετικό αριθμό νευρώνων σε κάθε επίπεδο, ώστε να επιλεγθεί τελικά εκείνο το οποίο δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα. Το κάθε κρυμμένο επίπεδο δίνει την δυνατότητα στο δίκτυο να εκτελεί πιο πολύπλοκες μη γραμμικές συναρτήσεις. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί ο σωστός αριθμός κρυμμένων επιπέδων διότι αυτά επηρεάζουν άμεσα το τελικό αποτέλεσμα. Τελικά, αποφασίστηκε το νευρωνικό δίκτυο να αποτελείται από ένα ενδιάμεσο κρυφό επίπεδο.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο για το νευρωνικό δίκτυο είναι ο **αριθμός των νευρώνων**. Ένας κανόνας είναι ότι πολύ λίγοι νευρώνες επηρεάζουν αρνητικά το δίκτυο, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι πολλοί. Ο αριθμός των νευρώνων αντιδρά με τη διαδικασία εκπαίδευσης και αυτό αντανακλά τη φύση των δεδομένων και τον αριθμό των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται.

**Στα κρυμμένα επίπεδα βασίζεται όλη η διαδικασία απόδοσης βαρών, όπου συγκρίνονται τα δεδομένα εισαγωγής, με μαθηματικές εκφράσεις.** Δίνονται τιμές εξόδου, οι οποίες συγκρίνονται με κάποια επιθυμητά αποτελέσματα και έτσι δίνουν βαθμό λάθους. Η διαδικασία, όπως έχει ήδη αναλυθεί, είναι ότι αν αυτός ξεπερνά ένα όριο, τότε τα στοιχεία εξόδου επαναπροωθούνται μέχρι το σφάλμα να πέσει κάτω από το οριζόμενο κατώφλι.

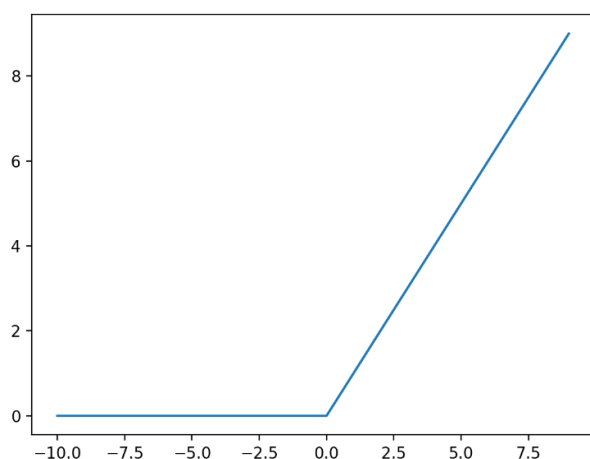
Οι νευρώνες του πρώτου επιπέδου είναι 20, καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο αριθμός των νευρώνων του πρώτου επιπέδου πρέπει να ίσος ή αρκετά κοντινός με τον αριθμό των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στη εργασία. Ο αριθμός των νευρώνων του ενδιάμεσου επιπέδου είναι 15, ενώ του τελικού επιπέδου-εξόδου είναι 1.

### 6.4.3 Συναρτήσεις

Σε ένα νευρωνικό δίκτυο, η λειτουργία ενεργοποίησης είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά της αθροισμένης σταθμισμένης εισόδου από τον κόμβο ενός επιπέδου στον κόμβο του επόμενου επιπέδου. Στην πραγματικότητα είναι πιο σωστή η έκφραση, ότι μέσω αυτής της συνάρτησης “ενεργοποιείται” ο κόμβος του επόμενου επιπέδου. Η συνάρτηση αυτή εκτελεί πράξεις μέσα στους νευρώνες που βρίσκονται μέσα στα κρυμμένα επίπεδα και η επιλογή της εξαρτάται από το υπό μελέτη πρόβλημα. Η επιλογή της εξαρτάται από τα δεδομένα του προβλήματος αν αυτά για παράδειγμα συνδέονται με μη γραμμική σχέση, τότε θα πρέπει να επιλεγεί μια μη γραμμική συνάρτηση. Οι πολλές δοκιμές είναι αυτές που θα υποδείξουν την κατάλληλη συνάρτηση, παρά κάποιος κανόνας (Κυριλλίδης, 2017).

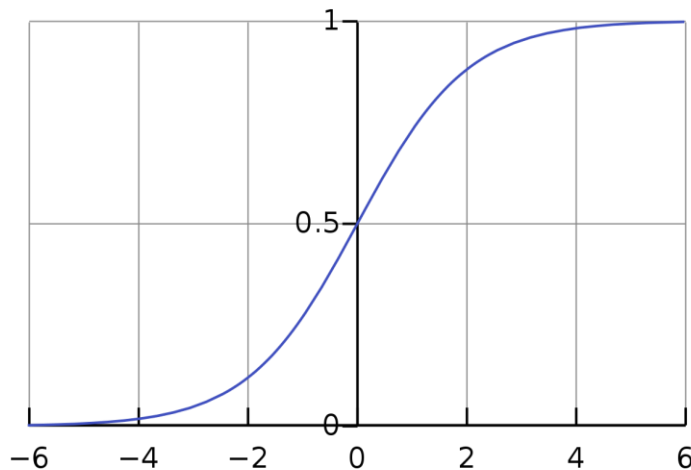
Η συνάρτηση για τη μετάβαση των πληροφοριών από το ένα επίπεδο στο άλλο, είναι η Rectified Linear Unit (ReLU) και αυτή για την έξοδο των δεδομένων είναι η σιγμοειδής συνάρτηση sigmoid.

Η διορθωμένη συνάρτηση γραμμικής ενεργοποίησης ή το ReLU για συντομία, είναι μια γραμμική συνάρτηση που θα εξάγει την είσοδο απευθείας εάν είναι θετική, διαφορετικά θα εξάγει μηδέν. Είναι η προεπιλεγμένη συνάρτηση ενεργοποίησης για πολλούς τύπους νευρωνικών δικτύων, επειδή όταν χρησιμοποιείται, το μοντέλο εκπαιδεύεται ευκολότερα και συχνά επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση.



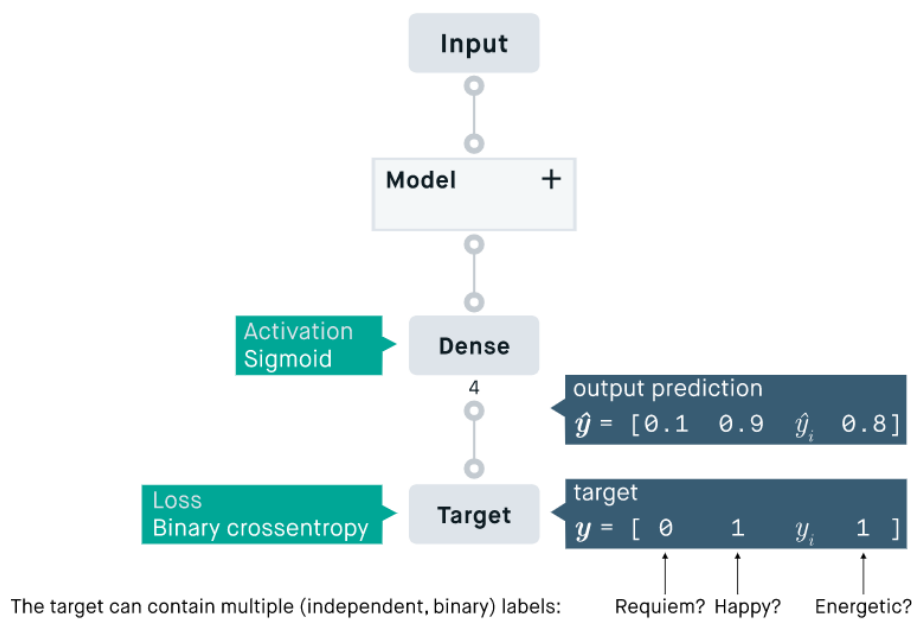
Σχήμα 13 Η συνάρτηση ReLU Πηγή: Web

Η σιγμοειδής συνάρτηση **Sigmoid** είναι μια μαθηματική συνάρτηση που έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη σχήματος S. Μία από τις πιο διαδεδομένες σιγμοειδείς συναρτήσεις είναι η λογιστική συνάρτηση, η οποία αντιστοιχεί οποιαδήποτε πραγματική τιμή στο εύρος (0, 1). Οι λειτουργίες Sigmoid έχουν γίνει δημοφιλείς στη βαθιά μάθηση, επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λειτουργία ενεργοποίησης σε ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο. Εμπνεύστηκαν από το δυναμικό ενεργοποίησης σε βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Οι λειτουργίες Sigmoid αποτελούν σημαντικό μέρος ενός μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης. Η λογιστική παλινδρόμηση είναι μια τροποποίηση της γραμμικής παλινδρόμησης για ταξινόμηση δύο κατηγοριών και μετατρέπει μία ή περισσότερες εισόδους πραγματικής αξίας σε πιθανότητα, όπως η πιθανότητα ότι ένα σημείο είναι αστικό ή όχι. Το τελικό στάδιο ενός μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης ορίζεται συχνά στη λογιστική συνάρτηση, η οποία επιτρέπει στο μοντέλο να παράγει-προβλέψει μια πιθανότητα.



Σχήμα 14 Η συνάρτηση Sigmoid Πηγή: Web

Για τον υπολογισμό των **απωλειών** του μοντέλου χρησιμοποιείται η συνάρτηση **binary-crossentropy**, καθώς με αυτήν την συνάρτηση συνήθως αντιμετωπίζονται τα δυαδικά προβλήματα, όπως αυτό της αστικής ανάπτυξης.



Σχήμα 15 Λειτουργία συνάρτησης Binary-Crossentropy Πηγή: <https://peltarion.com/knowledge-center/documentation/modeling-view/build-an-ai-model/loss-functions/binary-crossentropy>

Προβλήματα δυαδικής ταξινόμησης, είναι εκείνα τα προγνωστικά προβλήματα μοντελοποίησης όπου στα δεδομένα εκχωρείται μία από τις δύο τιμές, 0 ή 1. Η binary-crossentropy είναι η προεπιλεγμένη συνάρτηση απώλειας που χρησιμοποιείται για προβλήματα δυαδικής ταξινόμησης. Προορίζεται για χρήση με δυαδική ταξινόμηση, όπου οι τιμές βρίσκονται στο διάστημα  $[0, 1]$ . Μαθηματικά, είναι η προτιμώμενη συνάρτηση απώλειας. Είναι η λειτουργία απώλειας που αξιολογείται πρώτα και αλλάζει μόνο εάν υπάρχει πολύ σημαντικός λόγος, καθώς έχει μεγάλη ανθεκτικότητα. Υπολογίζει ένα αποτέλεσμα που συνοψίζει τη μέση διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης τιμής για την πρόβλεψη μίας κατηγορίας.



Η συνάρτηση απαιτεί τη διαμόρφωση του επιπέδου εξόδου με ένα μόνο κόμβο και συνάρτηση ενεργοποίησης σιγμοειδούς, όπως ήδη αναφέρθηκε.

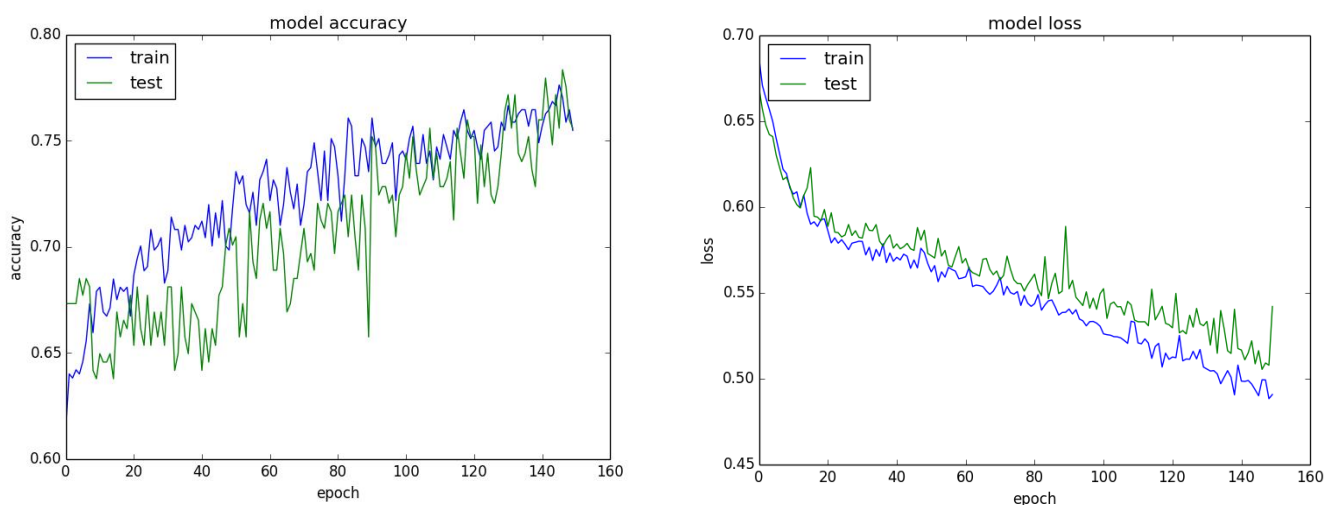
Ακόμα δύο παράμετροι που έπρεπε να ρυθμιστούν για την σωστή λειτουργία του νευρωνικού δικτύου, είναι ο αριθμός των **εποχών** και το **μέγεθος παρτίδας**.

Το **μέγεθος της παρτίδας** είναι μια υπερπαραμέτρος που καθορίζει τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να επεξεργαστούν πριν από την ενημέρωση των εσωτερικών παραμέτρων του μοντέλου. Δείγμα θεωρείται μία σειρά δεδομένων. Περιέχει εισόδους που τροφοδοτούνται στον αλγόριθμο και μια έξοδο που χρησιμοποιείται για σύγκριση με την πρόβλεψη και υπολογισμό ενός σφάλματος. Ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης αποτελείται από πολλές σειρές δεδομένων, π.χ. πολλά δείγματα. Μια παρτίδα είναι μία επαναλαμβανόμενη επανάληψη, για ένα ή περισσότερα δείγματα, που στόχο έχει την πρόβλεψη. Στο τέλος της παρτίδας, οι προβλέψεις συγκρίνονται με τις αναμενόμενες μεταβλητές εξόδου και υπολογίζεται ένα σφάλμα. Από αυτό το σφάλμα, ο αλγόριθμος ενημέρωσης το χρησιμοποιεί για τη βελτίωση του μοντέλου. Ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να χωριστεί σε μία ή περισσότερες παρτίδες. Επιλέγεται το σχετικά μικρό νούμερο 5.000, σε σχέση με τον αριθμό των σημείων όλης της Αττικής.

Ο αριθμός των **εποχών** καθορίζει τον αριθμό των φορών που ο αλγόριθμος εκμάθησης θα “μάθει” από ολόκληρο το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Μια εποχή, σημαίνει, ότι κάθε δείγμα στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης έχει την ευκαιρία να ενημερώσει τις εσωτερικές παραμέτρους του μοντέλου. Μια εποχή αποτελείται από μία ή περισσότερες παρτίδες. Ο αριθμός των εποχών είναι παραδοσιακά μεγάλος, π.χ. εκατοντάδες, επιτρέποντας στον αλγόριθμο εκμάθησης να “τρέξει”, έως ότου το σφάλμα από το μοντέλο να έχει ελαχιστοποιηθεί επαρκώς. Συνήθη νούμερα που ορίζονται είναι 10, 100, 500, 1000 και μεγαλύτερα. Επιλέγεται ο αριθμός 200.

#### 6.4.4 Γραφήματα

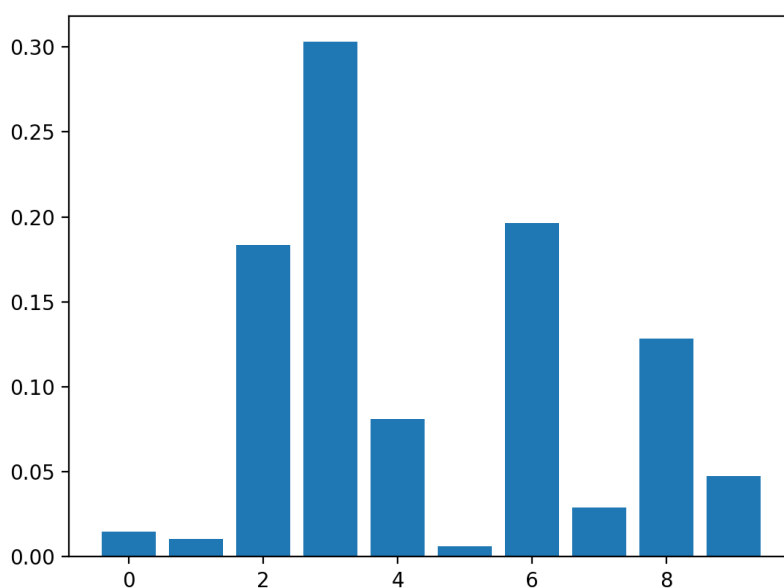
Στη συνέχεια, προστέθηκε στο μοντέλο η δυνατότητα να παράγονται γραφήματα που εμφανίζουν εποχές κατά μήκος του άξονα x και το σφάλμα ή την ικανότητα του μοντέλου στον άξονα y. Αυτά τα διαγράμματα ονομάζονται καμπύλες εκμάθησης.



Σχήμα 16 Παράδειγμα γραφημάτων ακρίβειας και απώλειας Πηγη: Web

Αυτές οι γραφικές παραστάσεις μπορούν να βοηθήσουν στη διάγνωση, εάν το μοντέλο έχει μάθει περισσότερο από όσο χρειάζεται (λανθασμένη μάθηση), έχει μάθει λιγότερο από όσο χρειάζεται ή είναι κατάλληλο για το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης.

Ακόμα, προκειμένου να γίνει εμφανές πόσο σημαντική ήταν η κάθε μεταβλητή στην διαδικασία εκμάθησης του μοντέλου, θα δημιουργηθεί ένα ιστόγραμμα όπου θα απεικονίζεται η συνεισφορά της κάθε μεταβλητής στο νευρωνικό δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται αντιληπτή η σημασία των μεταβλητών σε ένα προγνωστικό πρόβλημα μοντελοποίησης



Σχήμα 17 Παράδειγμα γραφήματος σημαντικότητας μεταβλητών Πηγη: Web

#### 6.4.5 Διαδικασία Μάθησης (train)

Η διαδικασία μάθησης χρησιμοποιεί έναν κανόνα μάθησης για τον προσδιορισμό των βαρών. Στην συγκεκριμένη εργασία ο κανόνας μάθησης (learning rule) που χρησιμοποιήθηκε στηρίζεται στην εξής λογική: Οι τιμές των βαρών αρχικά παίρνουν τυχαίες τιμές. Τα στοιχεία εισόδου τροφοδοτούνται στον κόμβο και σε αυτά αποδίδονται, βάρη ώσπου να ικανοποιηθεί το ελάχιστο σφάλμα, το οποίο εμείς ορίζουμε για τα στοιχεία εξόδου.

Ο σωστός προσδιορισμός των βαρών είναι θεμελιώδες στοιχείο στα νευρωνικά δίκτυα, αφού εξ ορισμού ο σκοπός τους είναι η αναγνώριση της σπουδαιότητας ή μη, των επεξεργασμένων στοιχείων. Η επιλογή κανόνα μάθησης είναι πολύ καθοριστική, αφού όλη η εκπαίδευση βασίζεται σε αυτόν.

Το δίκτυο υπολογίζει ένα προσωρινό αποτέλεσμα εξόδου, το συγκρίνει με το επιθυμητό και υπολογίζει το λάθος του προσωρινού αποτελέσματος ως προς το επιθυμητό. Αυτό το λάθος στέλνει ένα σήμα στον κόμβο για τροποποίηση των βαρών, ώστε τα νέα τροποποιημένα να ελαττώσουν το σφάλμα. Αν το σφάλμα δεν πέσει κάτω από το επίπεδο κατώφλι (threshold), τότε ξανατροποποιούνται τα βάρη έως ότου τελικά επιτευχθεί η τιμή κάτω από το επίπεδο αυτό. Το πιο συνηθισμένο δίκτυο που χρησιμοποιεί το μοντέλο αυτό είναι το multiplayer

perceptron with back propagation learning rule, το οποίο χρησιμοποιείται και για την πρόβλεψη της Αστικής Ανάπτυξης.

Το δίκτυο έχει την ικανότητα να εκπαιδεύεται για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, όμως αν ένα δίκτυο εκπαιδευθεί για αρκετό χρόνο, τότε μπορεί να μην πάρουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το δίκτυο μπορεί να υπερεκπαιδευθεί (overfitting) και να παράγει τυχαίο θόρυβο δεδομένων, ως αποτέλεσμα λανθασμένης απόδοσης βαρών. Θα δίνει λοιπόν λάθος αποτελέσματα αν του βάλουμε νέα δεδομένα που δεν συμμετέχουν στην εκπαίδευση. Ένας τρόπος για να αποφασισθεί πότε πρέπει να σταματήσει η εκπαίδευση, είναι να γίνεται παρακολούθηση του σφάλματος που προκύπτει από τα δεδομένα του validation, όπως αναφέρθηκε. Όταν κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης το σφάλμα που δίνουν τα δεδομένα του validation, αυξάνεται τότε η εκπαίδευση του δικτύου πρέπει να σταματάει. Για να εξακριβωθεί όμως αν το δίκτυο εκπαιδεύθηκε σωστά, θα πρέπει να ελεγχθεί. Αυτό γίνεται με τα δεδομένα που έχουμε στο test data.

#### 6.4.6 Διαδικασία Επικύρωσης (validation)

Όταν υπολογιστούν τα τελικά βάρη του δικτύου, τότε πρέπει να γίνει ο έλεγχος του νευρωνικού από τα δεδομένα ελέγχου (test data). Γίνεται εισαγωγή των δεδομένων ελέγχου, τα οποία δεν συμμετείχαν καθόλου στην εκπαίδευση του δικτύου και για τα οποία είναι γνωστά τα στοιχεία εξόδου, και έτσι προκύπτει αν το δίκτυο έχει εκπαιδευθεί σωστά. Το δίκτυο δηλαδή, έχοντας μάθει τις σχέσεις που ισχύουν για τα δεδομένα του training file τις εφαρμόζει και στα στοιχεία του test data. Αν τα αποτελέσματα που δίνει το δίκτυο, συγκρινόμενα με τα στοιχεία που έχουμε, ικανοποιούν τα όρια που έχουν οριστεί, τότε το δίκτυο είναι επιτυχημένο.

## 7.Αποτελέσματα

Για την εκμάθηση και την τελική πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκαν διάφορες περιπτώσεις. Αυτό που εξεταζόταν κάθε φορά ήταν ο τρόπος που οργανώνονταν τα δεδομένα, καθώς ο στόχος ήταν να μπορέσει το νευρωνικό δίκτυο να αντιληφθεί με το σωστό τρόπο, τη σημασία τους και τη σχέση τους. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι μία περίπλοκη μέθοδος με πολλές μαθηματικές εργασίες. Συνεπώς, είναι φυσικό να γίνουν πολλές δοκιμές, ώστε να βρεθεί αυτή που φαίνεται να παρουσιάζει μία αναμενόμενη πρόβλεψη για την Αττική και να ταιριάζει με τις προηγούμενες χρονικές στιγμές. Σε κάθε δοκιμή γίνεται πρόβλεψη των χρονολογιών 2012 και 2018 από γνωστά δεδομένα, ώστε να μπορέσει να γίνει σύγκριση με την πραγματικότητα. Στη συνέχεια γίνεται πρόβλεψη της κατάστασης για το έτος 2024. Παρουσιάζονται τρεις δοκιμές, τα αποτελέσματα των οποίων θεωρήθηκαν ικανοποιητικά.

### 7.1 Πρώτος Τρόπος (ανά 6-άδα)

Για την πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για το 2000, το 2006, το 2012 και το 2018. Σκοπός ήταν η πρόβλεψη του 2012 αν θεωρηθεί γνωστή η κατάσταση του 2006 και η πρόβλεψη του 2018 αν θεωρηθεί γνωστή η κατάσταση του 2012. Έπειτα, έγινε η πρόβλεψη για το 2024 από τα δεδομένα του 2018. Η λογική της πρώτης περίπτωσης ήταν να αντιμετωπίσει τα δεδομένα ανά εξάδες. Έτσι τα δεδομένα οργανώθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε το νευρωνικό δίκτυο να μαθαίνει να προβλέπει, όσο καλύτερα του επιτρέπουν τα δεδομένα και η δομή του, από το 2000→2006, από το 2006→2012 και από το 2012→2018.

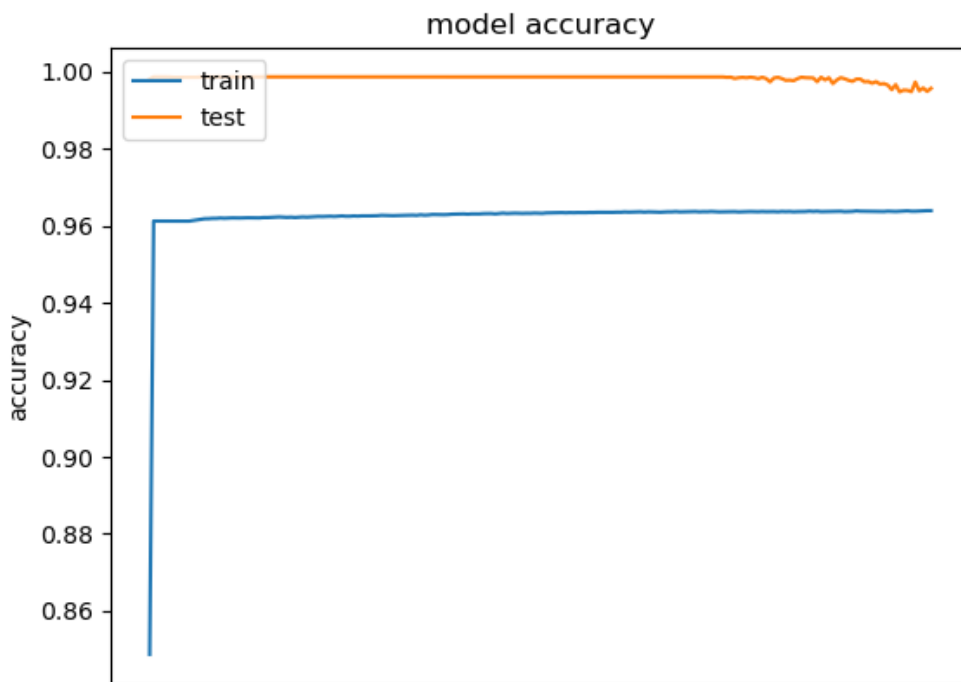
Η πρώτη περίπτωση που εξετάστηκε περιείχε 12 μεταβλητές, όπως φαίνεται παρακάτω. Οι 12 αυτές μεταβλητές αφορούσαν την πρώτη χρονική στιγμή (2000, 2006, 2012, 2018) και στόχος ήταν να προβλεφτεί σωστά η δεύτερη χρονική στιγμή (2006, 2012, 2018, 2024). Η μεταβλητή "Τυπολογία 1" έδινε την κατάσταση του κάθε σημείου ανάμεσα σε δύο επιλογές αστικό (1) ή μη αστικό (0) για τη στιγμή 1. Το αποτέλεσμα του νευρωνικού δικτύου θα ήταν εξίσου μία συλλογή από 0 και 1 που θα αφορούσαν την κατάσταση των σημείων την προβλεπόμενη στιγμή.

Όλα τα σημεία της Αττικής είναι 292.153, στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, δημιουργήθηκε ένας πίνακας που τα περιείχε τρεις φορές ώστε να αποκωδικοποιηθούν όλες οι μεταβολές που συνέβησαν ανά έξι χρόνια από το 2000 έως το 2018. Ο πίνακας έχει διαστάσεις 876.459 σειρές x 13 στήλες (12 μεταβλητές + τελική έξοδος μοντέλου). Η τελική έξοδος του μοντέλου είναι γνωστή κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης, αφού πρόκειται για διαδικασία επιβλεπόμενης μάθησης.

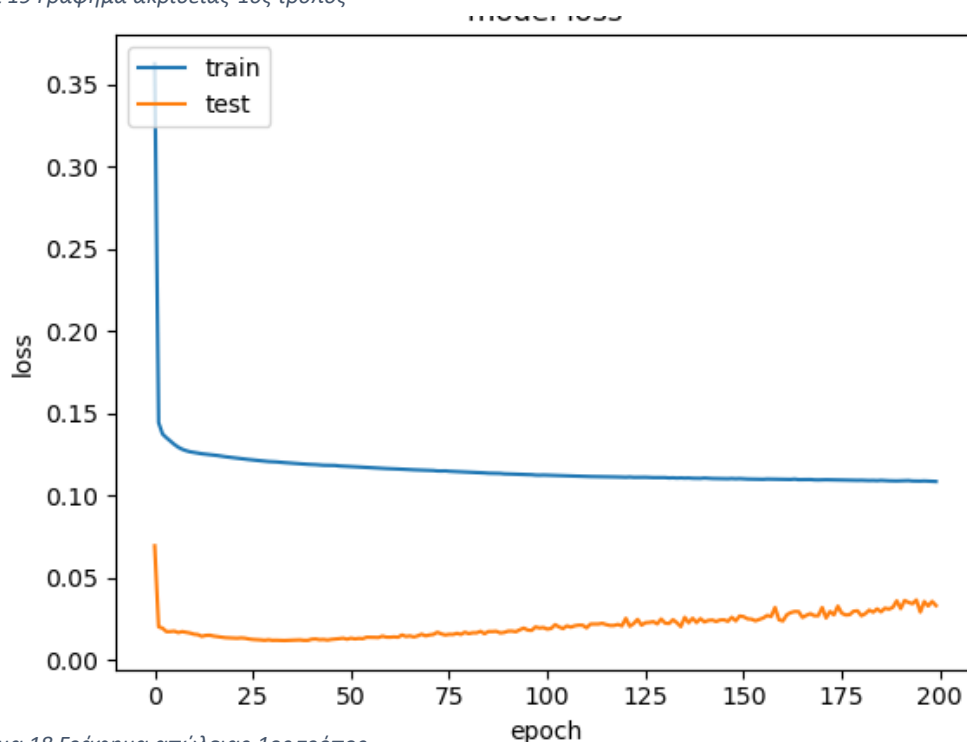
Συγκεκριμένα οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Αρίθμηση
- Χρόνος
- Υψόμετρο
- Πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία
- Απόσταση από ακτογραμμή
- Απόσταση από πράσινους χώρους
- Απόσταση από σημεία αυξημένου ενδιαφέροντος
- Απόσταση από οδικό δίκτυο
- Απόσταση από στάση του δικτύου ΜΜΜ
- Αριθμός Οικοδομικών Αδειών
- Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
- Τυπολογία 1

Για κάθε μέθοδο έχει απεικονιστεί σε διαγράμματα η πορεία της ακρίβειας (accuracy) και η πορεία της απώλειας (loss), που έχει το νευρωνικό δίκτυο. Παρατηρούμε ότι από τις πρώτες εποχές και οι δύο τιμές έχουν πάρει τις καλύτερες τιμές τους. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, καθώς η τιμή παραμένει περίπου στο 97,22% για την ακρίβεια και στο 9,70% για την απώλεια. Οι τιμές αυτές δείχνουν την ποιότητα της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου και όχι τα ποσοστά επιτυχίας του στις προβλέψεις. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι τα δεδομένα test, έχουν καλύτερες επιδόσεις, κάτι που αποδεικνύει την “εκπαίδευση” του μοντέλου.



Σχήμα 19 Γράφημα ακρίβειας-1ος τρόπος

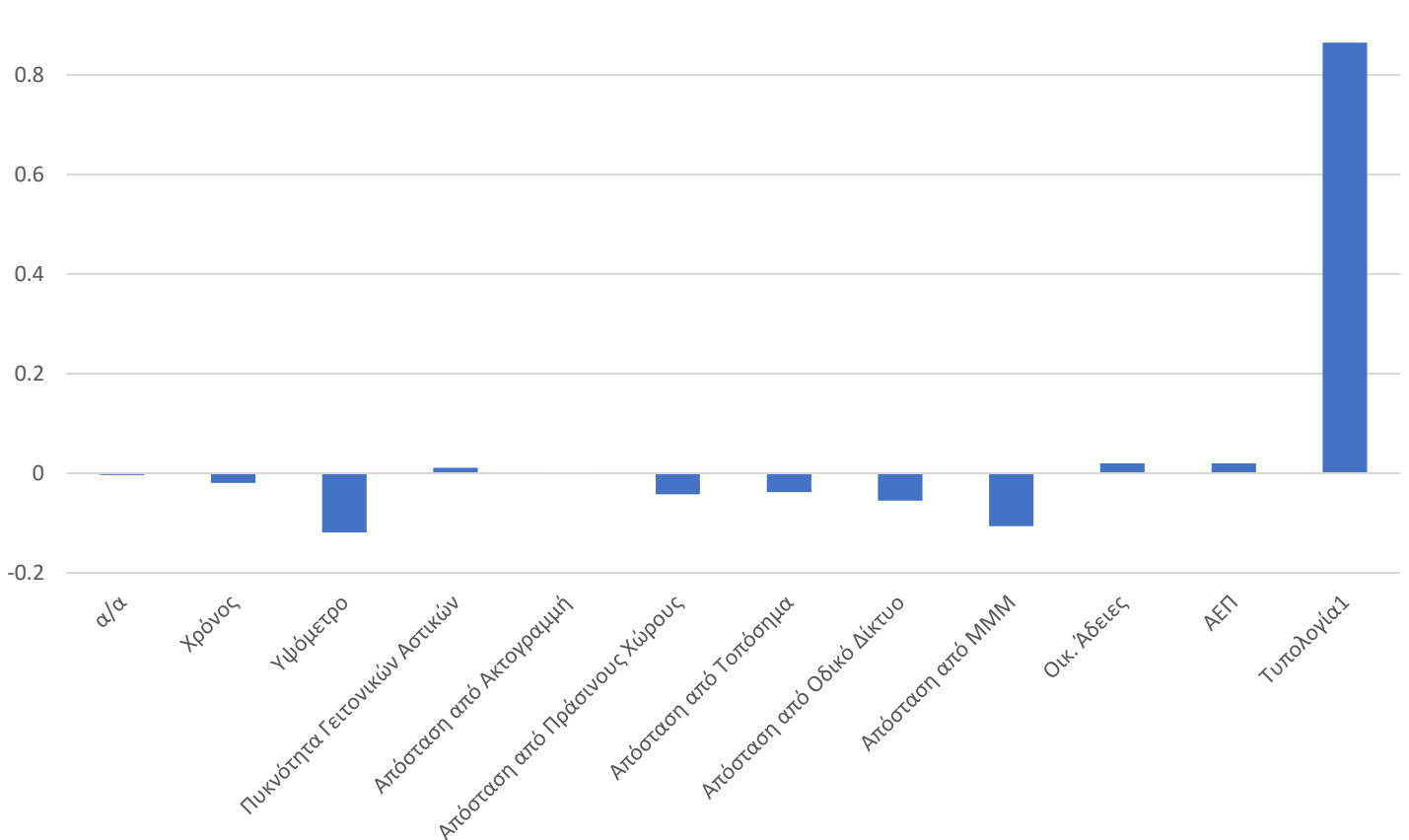


Σχήμα 18 Γράφημα απώλειας-1ος τρόπος

Η σημασία των μεταβλητών παίζει σημαντικό ρόλο σε ένα έργο πρόβλεψης, καθώς παρέχει πληροφορίες για τα δεδομένα, περισσότερη γνώση για το μοντέλο και τη βάση, για τη μείωση της διάστασης και την επιλογή χαρακτηριστικών που μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα του προγνωστικού μοντέλου στο πρόβλημα. Η σημασία της κάθε μεταβλητής είναι μία τεχνική για την ανάθεση τιμών στα χαρακτηριστικά ενός μοντέλου πρόβλεψης, που υποδεικνύει τη σχετική σημασία κάθε μεταβλητής κατά την πραγματοποίηση μιας πρόβλεψης. Εφαρμόζεται σε προβλήματα που περιλαμβάνουν πρόβλεψη αριθμητικής τιμής, (παλινδρόμηση) και σε εκείνα τα προβλήματα που περιλαμβάνουν πρόβλεψη ετικέτας κλάσης (ταξινόμηση). Οι βαθμολογίες είναι χρήσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά καταστάσεων σε ένα προγνωστικό πρόβλημα μοντελοποίησης, όπως:

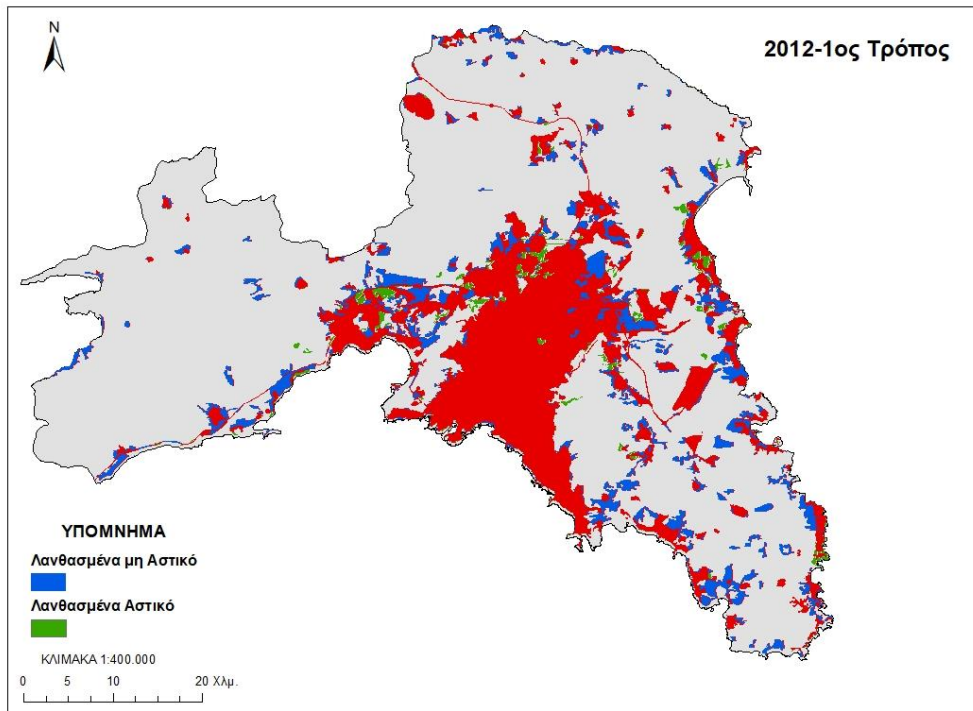
- **Καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.** Οι σχετικές βαθμολογίες μπορούν να επισημάνουν ποιες δυνατότητες μπορεί να είναι πιο σχετικές με το στόχο και το αντίστροφο, ποιες λειτουργίες είναι οι λιγότερο σχετικές.
- **Καλύτερη κατανόηση ενός μοντέλου.** Οι βαθμολογίες με τη μεγαλύτερη σημασία υπολογίζονται από ένα μοντέλο πρόβλεψης που ταιριάζει στο σύνολο δεδομένων. Ο έλεγχος της βαθμολογίας σπουδαιότητας παρέχει πληροφορίες για το συγκεκριμένο μοντέλο και ποιά χαρακτηριστικά είναι τα πιο σημαντικά και λιγότερο σημαντικά για το μοντέλο όταν κάνετε μια πρόβλεψη.
- **Μείωση του αριθμού** των δυνατοτήτων εισαγωγής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τις βαθμολογίες σπουδαιότητας για να γίνει επιλογή των μεταβλητών που θα διαγραφούν (χαμηλότερες βαθμολογίες) ή αυτές που πρέπει να διατηρηθούν (υψηλότερες βαθμολογίες). Αυτός είναι ένας τύπος επιλογής χαρακτηριστικών που μπορεί να απλοποιήσει το πρόβλημα που μοντελοποιείται, να επιταχύνει τη διαδικασία μοντελοποίησης (η διαγραφή χαρακτηριστικών είναι ουσιαστικά μείωση διαστάσεων), και σε ορισμένες περιπτώσεις, να βελτιώσει την απόδοση του μοντέλου.

Σχήμα 20 Γράφημα σημαντικότητας-1ος τρόπος

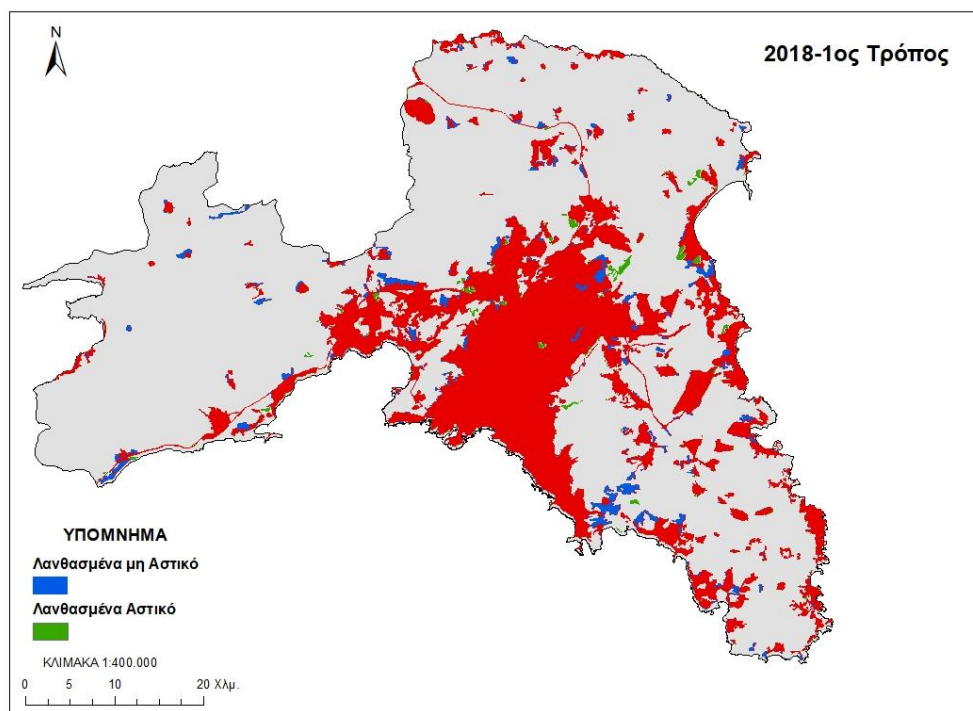




Όπως γίνεται σαφές η μεταβλητή που επηρεάζει περισσότερο το μοντέλο είναι η τυπολογία, δηλαδή η κατάσταση που βρισκόντουσαν τα σημεία την προηγούμενη χρονιά. Επιπλέον φαίνεται πως επηρεάζει αρνητικά την πρόβλεψη του μοντέλου η απόσταση από τα ΜΜΜ και το υψόμετρο του κάθε σημείου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα έτη 2012 και 2018:



Εικόνα 29 Πρόβλεψη 2012-1ος τρόπος



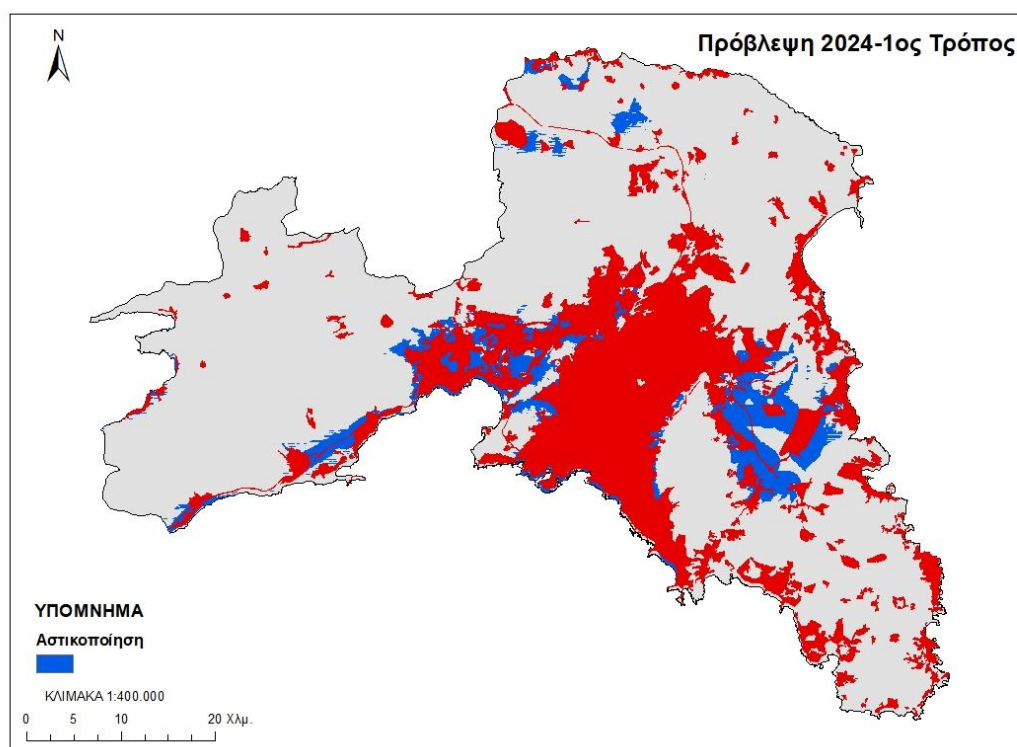
Εικόνα 30 Πρόβλεψη 2018-1ος τρόπος

Από τις 2 εικόνες φαίνεται ότι το μοντέλο είχε περισσότερες “απώλειες” στο έτος 2012 και λιγότερες “απώλειες” στο έτος 2018. Για το 2012 συγκεκριμένα, υπήρχαν πολλά σημεία που αστικοποιήθηκαν, αλλά το μοντέλο τα έδειξε ως μη αστικά. Επιπλέον, κάποια από τα σημεία που αστικοποιήθηκαν, το 2018 συνεχίζουν να απεικονίζονται ως μη αστικά. Αυτό συμβαίνει αρχικά, διότι τα σημεία αυτά δεν ακολουθούν κάποιο κανόνα αστικοποίησης, ο οποίος να προκύπτει από τις μεταβλητές που έχουν εξεταστεί σε αυτή τη μέθοδο. Επίσης, αποτελούν δραστηριότητες αστικοποίησης που δεν μπορούν να προβλεφτούν και για άλλους λόγους, ένα παράδειγμα είναι η τοποθέτηση ανεμογεννητριών στα βόρειο-δυτικά της Αττικής και η ανάπτυξη περιφερειακά της σχολής Ευελπίδων στη Βάρη.

Για το 2012, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 76,00%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 18.033. Αντίστοιχα για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 98,63% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 2.970.

Για το 2018, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 92,66%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 5,511. Αντίστοιχα, για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 99,24% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 1.644.

Τελικά, παρουσιάζεται η εικόνα που παράχθηκε ως πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης της Αττικής για το 2024.



Εικόνα 31 Πρόβλεψη 2024-1ος τρόπος

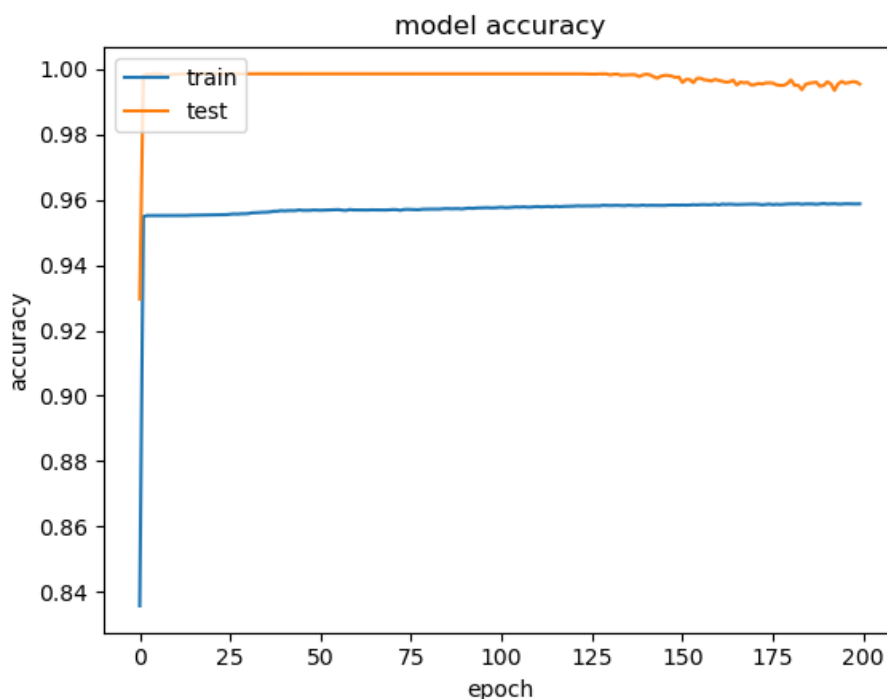
Είναι φανερό η ανάπτυξη στην περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο, στην περιοχή της Ελευσίνας, αλλά και στην περιοχή της Μαλακάσας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα, καθώς ακολουθούν τη λογική των μεταβλητών που έχουν χρησιμοποιηθεί και επίσης παρουσιάζουν μία πρόβλεψη η οποία θα μπορούσε να συμβεί στην πραγματικότητα.

## 7.2 Δεύτερος Τρόπος (Χωρίς Στάσιμες Περιοχές)

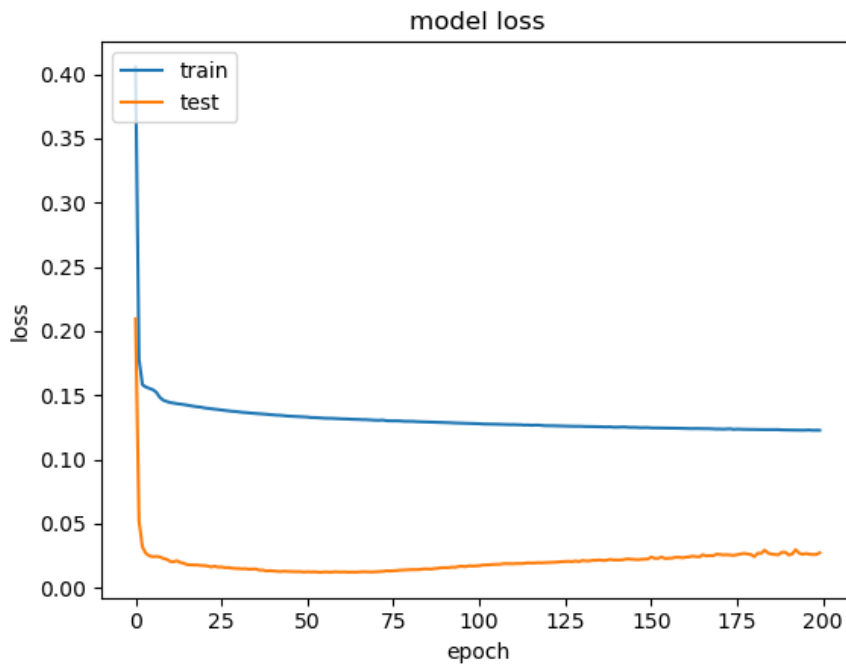
Στην συνέχεια, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η ίδια μέθοδος με κάποιες παραλλαγές. Τα δεδομένα οργανώθηκαν με τον ίδιο τρόπο και χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες μεταβλητές. Όλα τα σημεία της Αττικής είναι 292.153, στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως αφαιρέθηκαν τα σημεία ορισμένων περιοχών όπου θεωρήθηκε ότι δεν έχουν περιθώρια αστικής ανάπτυξης αλλά ούτε και περίπτωση να από-αστικοποιηθούν κάποια στιγμή. Τα σημεία που αφαιρέθηκαν βρίσκονται αρχικά στο κεντρικό αστικό ιστό της Αθήνας, αλλά και σε προτατευόμενες φυσικές, ορεινές περιοχές όπως είναι ο Υμηττός, η Πάρνηθα, τα Γεράνεια Όρη και ο ορεινός ογκός στο Λαύριο.

Δημιουργήθηκε ένας πίνακας που περιείχε 698.064 εγγραφές-σημεία. Και σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα δίνονται με στόχο όλες οι μεταβολές που συνέβησαν ανά έξι χρόνια, από το 2000 έως το 2018, να γίνουν αντιληπτές από το μοντέλο έτσι ώστε αυτό στην συνέχεια να μπορέσει να προβλέψει τις επόμενες χρονιές. Ο πίνακας έχει διαστάσεις 698.064 σειρές x 13 στήλες (12 μεταβλητές + τελική έξοδος μοντέλου).

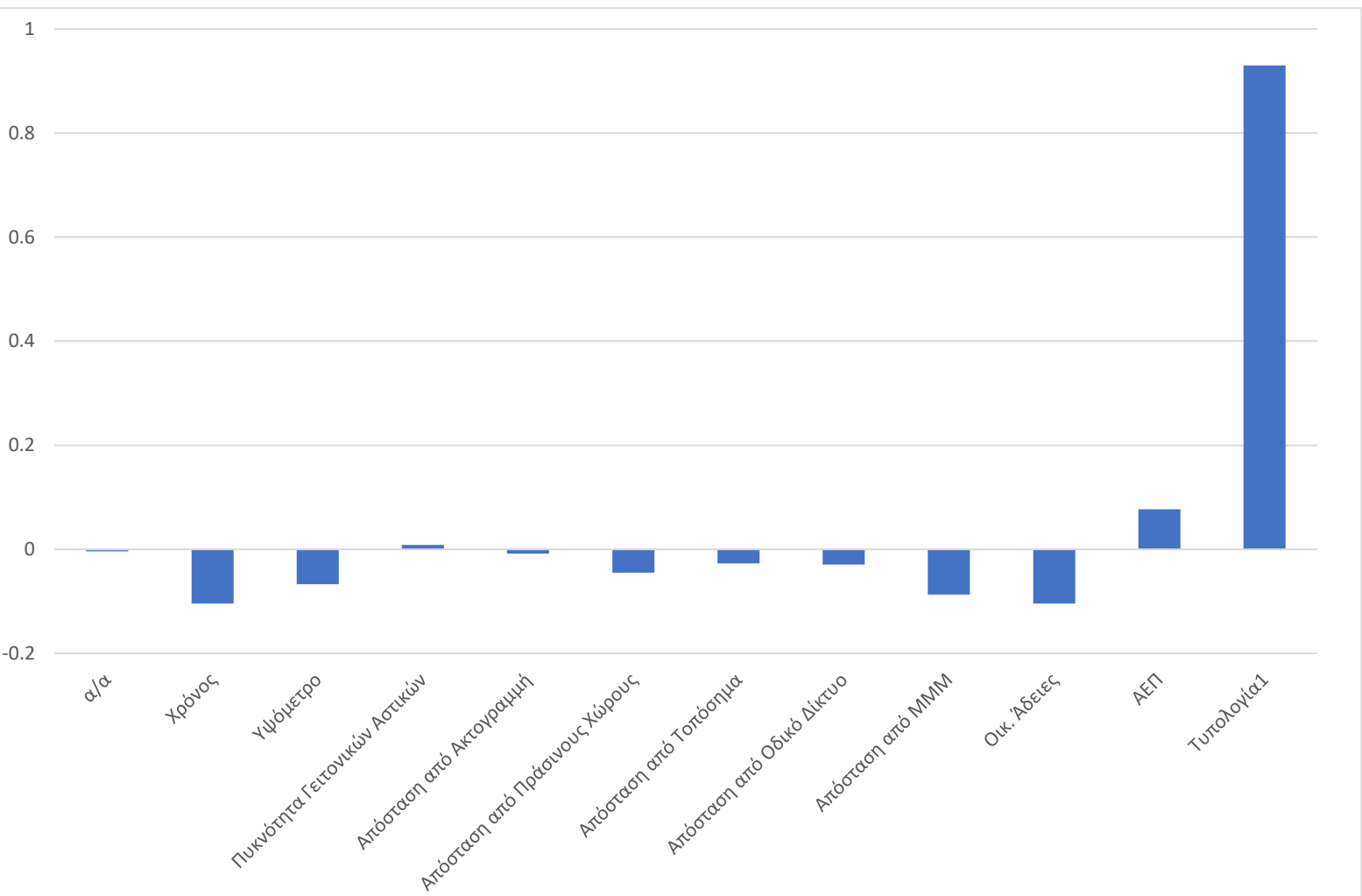
Οι αντίστοιχες καμπύλες ακρίβειας και απώλειας παρουσιάζονται παρακάτω. Έχουν την ίδια μορφή και συμπεριφορά. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, καθώς η τιμή παραμένει περίπου στο 96,96% για την ακρίβεια και στο 9,38% για την απώλεια.



Σχήμα 21 Γράφημα ακρίβειας-2ος τρόπος

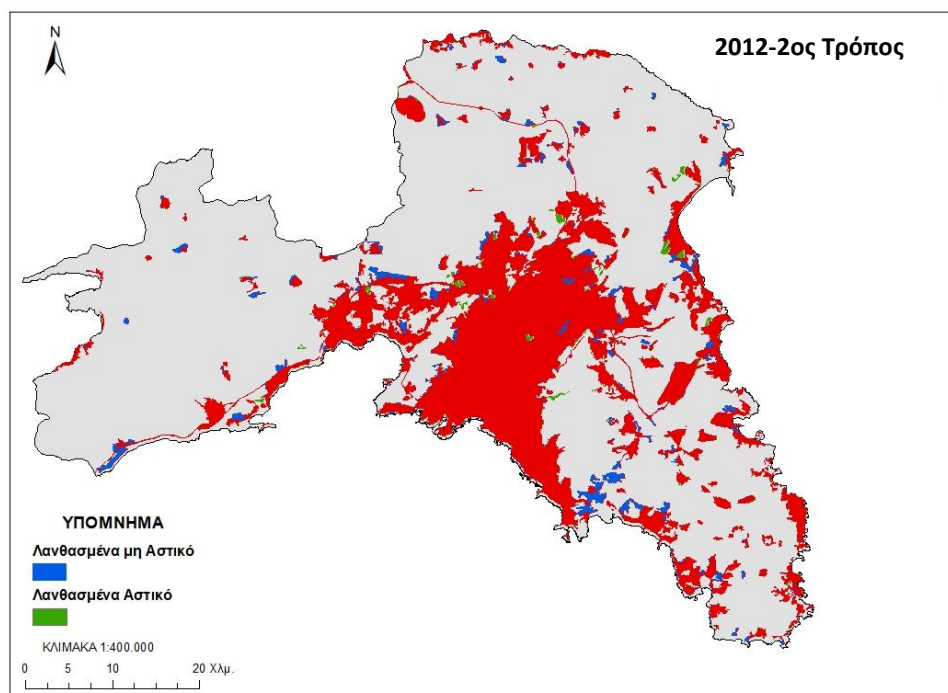


Σχήμα 22 Γράφημα απώλειας-2ος τρόπος

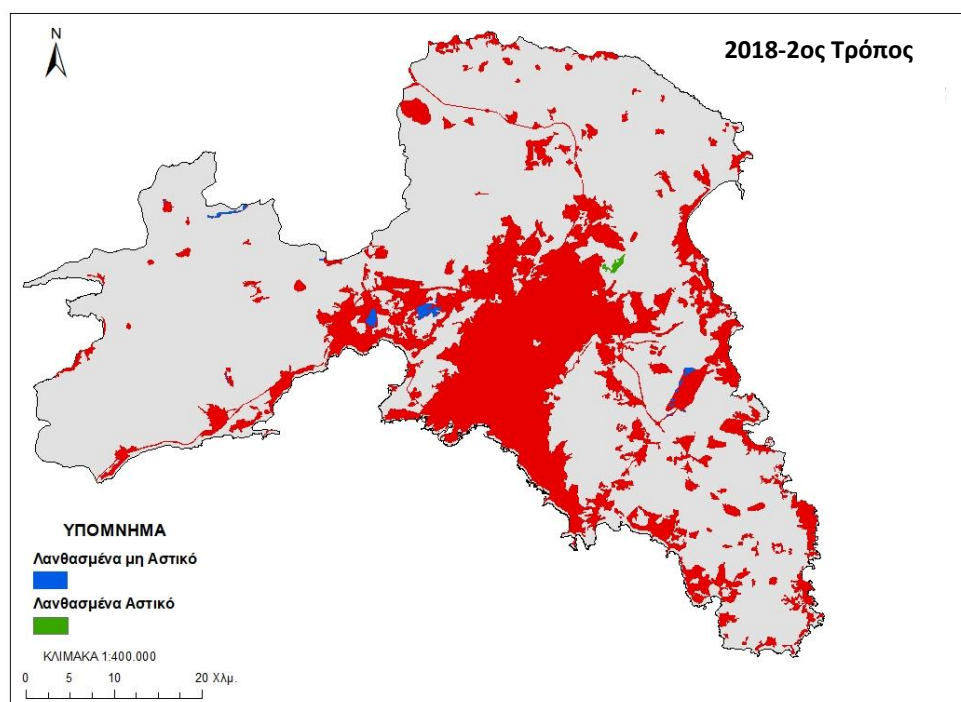


Σχήμα 23 Γράφημα σημαντικότητας-2ος τρόπος

Και σε αυτήν την περίπτωση, από το διάγραμμα φαίνονται οι μεταβλητές που επηρέασαν λιγότερο ή περισσότερο τη διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου. Η μεταβλητή που επηρεάζει περισσότερο είναι και πάλι η τυπολογία της προηγούμενης χρονιάς. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές αλλαγές στη σημαντικότητα των υπόλοιπων μεταβλητών. Συγκεκριμένα, εκτός από το υψόμετρο και την απόσταση από ΜΜΜ, σε αυτή την περίπτωση επηρεάζουν αρνητικά και ο χρόνος αλλά και ο αριθμός των οικοδομικών αδειών. Επίσης υπάρχει μία μικρή, θετική αύξηση στην επιρροή του Α.Ε.Π. στο μοντέλο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα έτη 2012 και 2018:



Εικόνα 32 Πρόβλεψη 2012-2ος τρόπος



Εικόνα 33 Πρόβλεψη 2018-2ος τρόπος

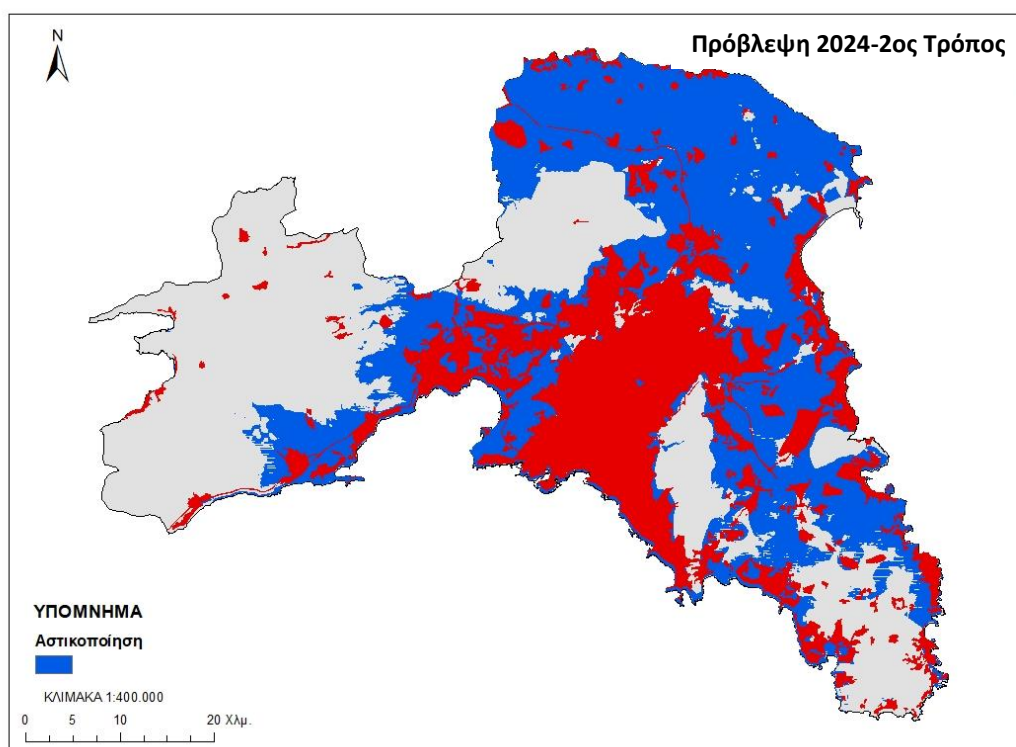


Σε αυτήν την περίπτωση, όπως φαίνεται από τις δύο εικόνες, υπάρχει πολύ μεγάλο ποσοστό επιτυχίας. Τα μόνα σημεία που φαίνεται να μην προβλέπονται σωστά είναι, για το 2012 η περιοχή στην στρατιωτική σχολή στη Βάρη και για το 2018 κάποιες από τις περιοχές στον Ασπρόπυργο, οι ανεμογεννήτριες και μια περιοχή στην Πεντέλη.

Για το 2012, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 93,06%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 5.219. Αντίστοιχα για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 99,36% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 1.388.

Για το 2018, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 98,95%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 788. Αντίστοιχα για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 99,91% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 189.

Παρακάτω παρουσιάζεται η πρόβλεψη για το 2024



Εικόνα 34 Πρόβλεψη 2024-2ος τρόπος

Δυστυχώς η πρόβλεψη αυτή δεν είχε αποδεκτά αποτελέσματα. Παρόλο που οι προβλέψεις για τα έτη 2012 και 2018 ήταν επιτυχημένες η πρόβλεψη του 2024 παρουσιάζει πολύ μεγάλη αστική ανάπτυξη, κάτι που σε καμία περίπτωση δεν πρόκειται να συμβεί. Τα δεδομένα με τα οποία εκπαιδεύτηκε το νευρωνικό δίκτυο αποτελούν κατά κύριο λόγο σημεία τα οποία αστικοποιήθηκαν και σημεία τα οποία παρέμειναν όπως ήταν ή από-αστικοποιήθηκαν, συνεπώς, είναι αναμενόμενο η πρόβλεψη για μία επόμενη χρονιά να παρουσιάζει τόσο έντονη αστικοποίηση. Με βάση αυτήν την πρόβλεψη αποφάσιστηκε πως αυτή η μεθοδος με τα λιγότερα σημεία κρίνεται ακατάλληλη, καθώς κατευθύνεται το μοντέλο σε μια λανθασμένη πρόβλεψη. Έχει ενδιαφέρον όμως, καθώς παρατηρείται πόσο εύκολα μπορεί να επηρεαστεί ένα μοντέλο ανάπτυξης και να προβλέψει αντίστοιχα συγκεκριμένα αποτελέσματα.



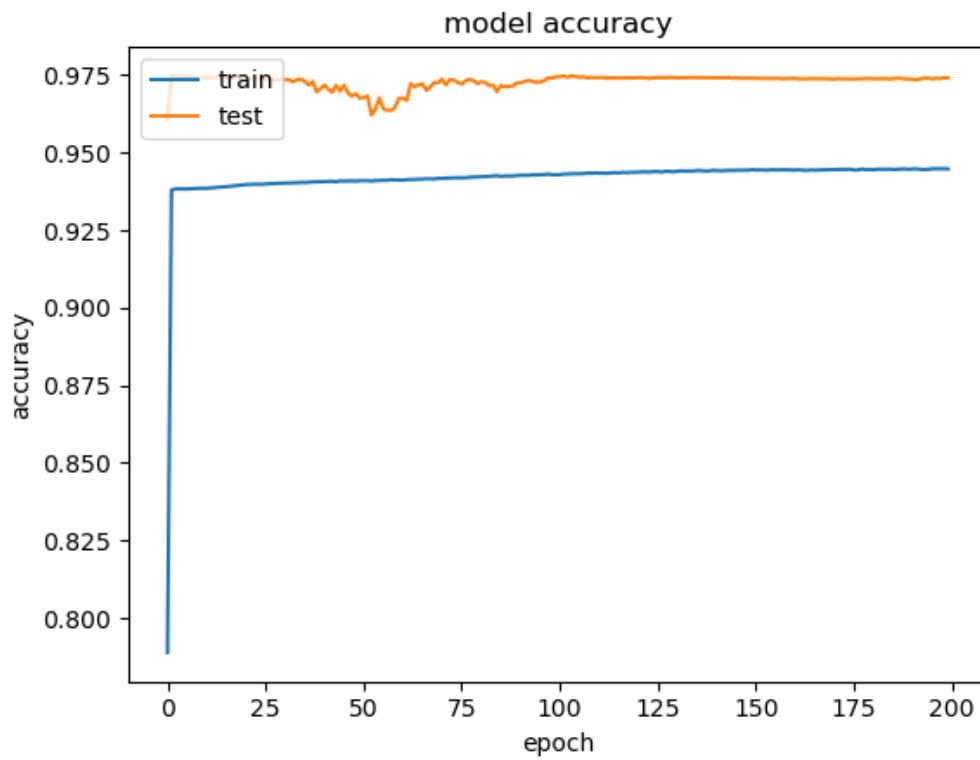
### 7.3 Τρίτος Τρόπος (ανά 12-άδα)

Ο επόμενος τρόπος που εφαρμόστηκε είχε και αυτός, πολλά κοινά με τον πρώτο. Συγκεκριμένα, η διαφορά του είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα αναφέρονται σε δωδεκάδες. Δηλαδή από τα δεδομένα μιας χρονιάς γίνεται προσπάθεια πρόβλεψης για 12 χρόνια αργότερα. Τα δεδομένα δίνονται με τη λογική 2000→2012 και 2006→2018. Έπειτα, όπως και στις άλλες περιπτώσεις γίνεται πρόβλεψη για το έτος 2024. Οι μεταβλητές που επιλέχτηκαν, ήταν οι 12 μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Ο λόγος που δοκιμάστηκε αυτή η μέθοδος είναι ποσοτικός. Οι αστικές αλλαγές που συνέβησαν την περίοδο 2000-2012 είναι πάρα πολλές σε σχέση με τις αλλαγές την περίοδο 2012-2018, επομένως με το διαχωρισμό των δεδομένων σε 2000-2012 και 2006-2018 έγινε προσπάθεια να υπάρξει μία ισορροπία. Θεωρήθηκε ότι με αυτόν τον τρόπο το μοντέλο θα προβλέψει με πιο σωστό τρόπο τα δεδομένα για κάθε χρονιά. Ο πίνακας που δημιουργήθηκε είχε διαστάσεις 584.306 σειρές x 13 στήλες (12 μεταβλητές + τελική έξοδος μοντέλου).

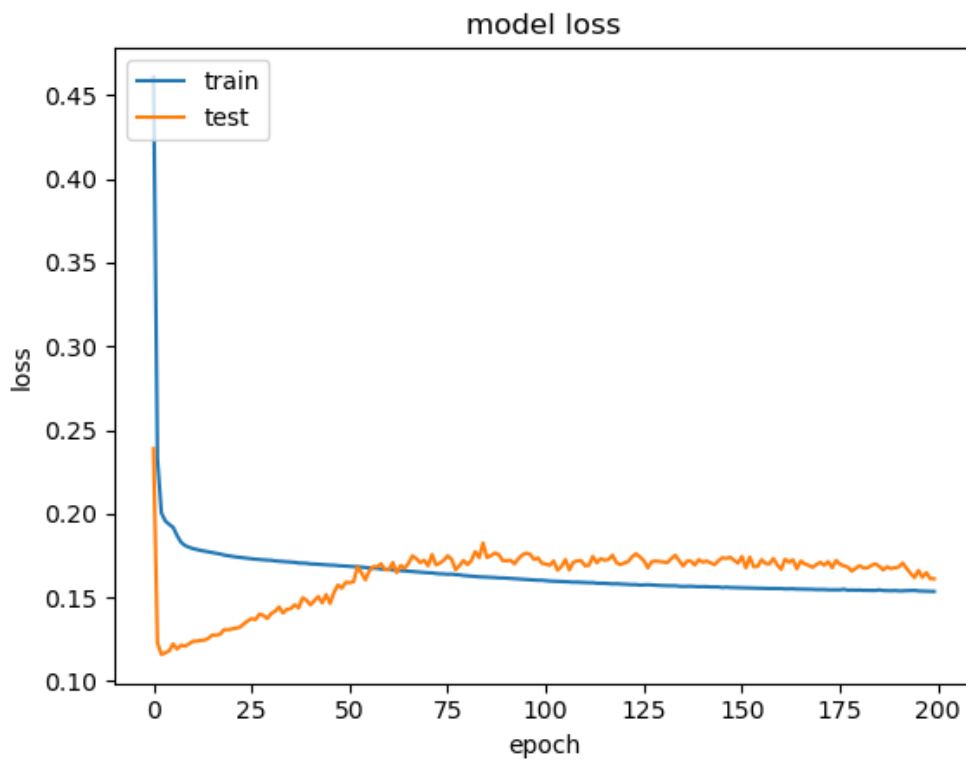
Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Αρίθμηση
- Χρόνος
- Υψόμετρο
- Πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία
- Απόσταση από ακτογραμμή
- Απόσταση από πράσινους χώρους
- Απόσταση από σημεία αυξημένου ενδιαφέροντος
- Απόσταση από οδικό δίκτυο
- Απόσταση από στάση του δικτύου ΜΜΜ
- Αριθμός Οικοδομικών Αδειών
- Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
- Τυπολογία 1

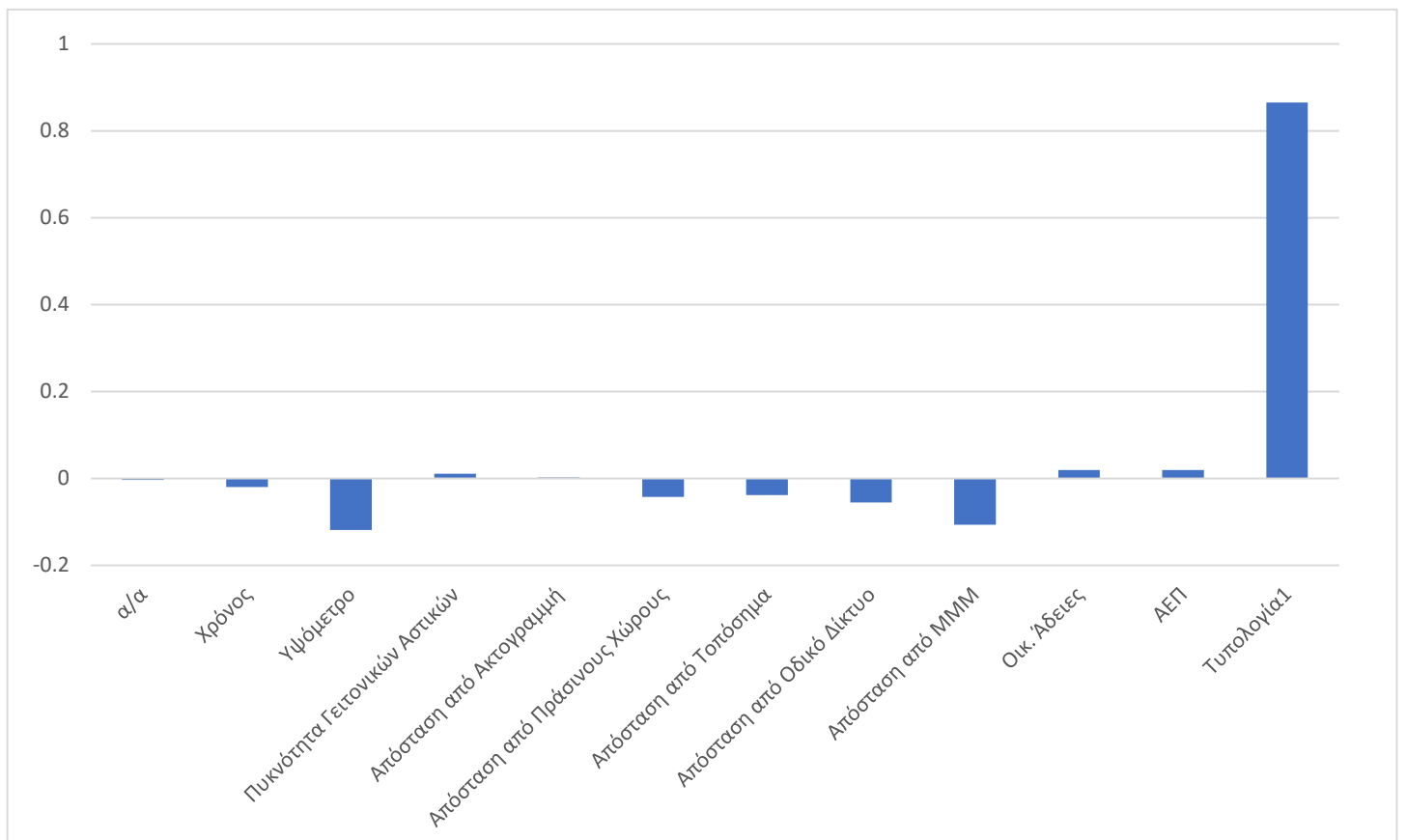
Αναφορικά με τις καμπύλες ακρίβειας και απώλειας που παρουσιάζονται παρακάτω, παρατηρείται μία διαφορετική συμπεριφορά των τιμών, καθώς μετά από 50 περιπού εποχές η ακρίβεια δείχνει να παρουσιάζει στιγμιαία μείωση, ενώ η απώλεια, στιγμιαία αύξηση. Το πρόβλημα αυτό στην εκπαίδευση του μοντέλου δείχνει να μην επηρεάζει τελικά τις τιμές ακρίβειας και απώλειας, αφού μετά τις 50 εποχές η συμπεριφορά των καμπυλών επανέρχεται στην φυσιολογική. Οι μέσοι όροι των παραπάνω δεικτών είναι για την ακρίβεια 95.24% και για την απώλεια 15.07%.



Σχήμα 24 Γράφημα ακρίβειας-3ος τρόπος



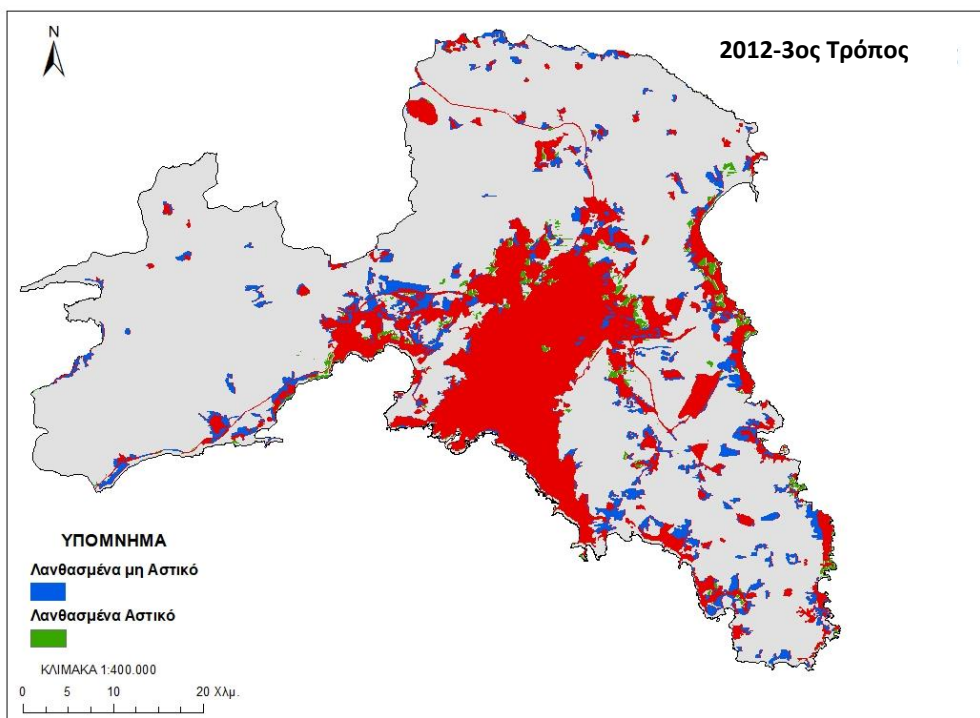
Σχήμα 25 Γράφημα απώλειας-3ος τρόπος



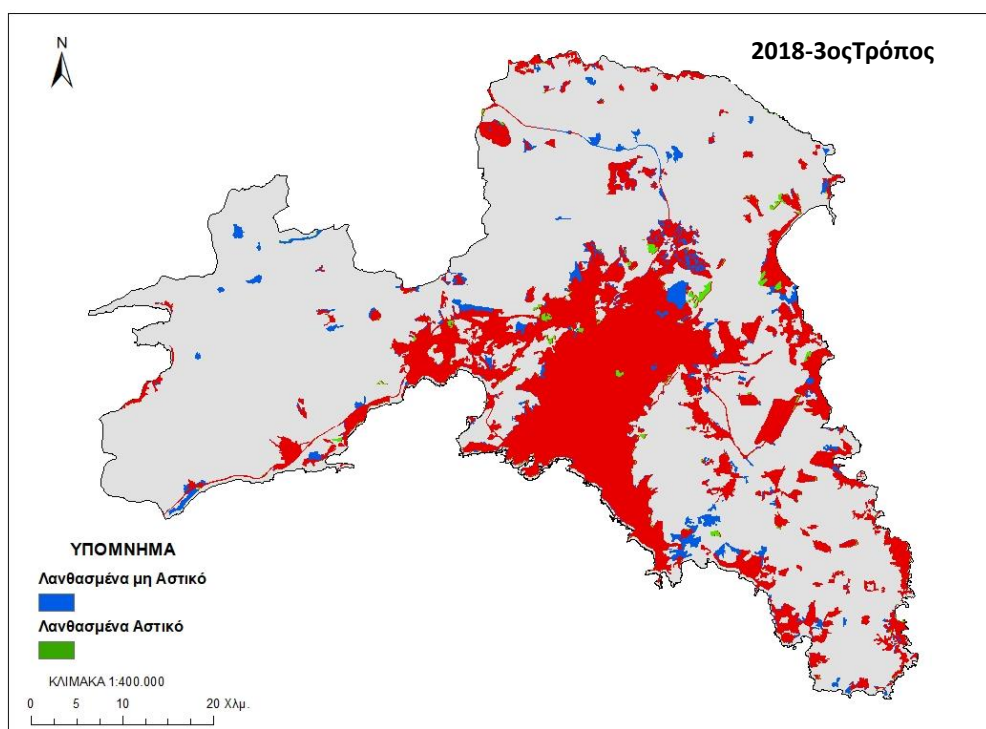
Σχήμα 26 Γράφημα σημαντικότητας-3ος τρόπος

Από το διάγραμμα φαίνονται οι μεταβλητές που επηρέασαν λιγότερο ή περισσότερο την διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου. Η μεταβλητή που επηρεάζει περισσότερο και σε αυτήν την περίπτωση είναι και πάλι η τυπολογία της προηγούμενης χρονιάς. Όπως είναι αναμενόμενο, το διάγραμμα είναι ακριβώς ίδιο με αυτό της πρώτης μεθόδου, καθώς το μοντέλο δουλεύει με τον ίδιο τρόπο, με την διαφορά των 12 χρόνων έναντι των 6 της προηγούμενης μεθόδου.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα έτη 2012 και 2018:



Εικόνα 35 Πρόβλεψη 2012-3ος τρόπος



Εικόνα 36 Πρόβλεψη 2018-3ος τρόπος

Στις 2 παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις προβλέψεις του μοντέλου. Όπως είναι φανερό και στις δύο εικόνες, υπάρχουν σημεία που είναι ελλιπή. Όμως, ειδικά για το έτος 2012 τα σημεία αυτά είναι διάσπαρτα και όχι συγκεκριμένες περιοχές, πράγμα που σημαίνει ότι είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν και άρα να

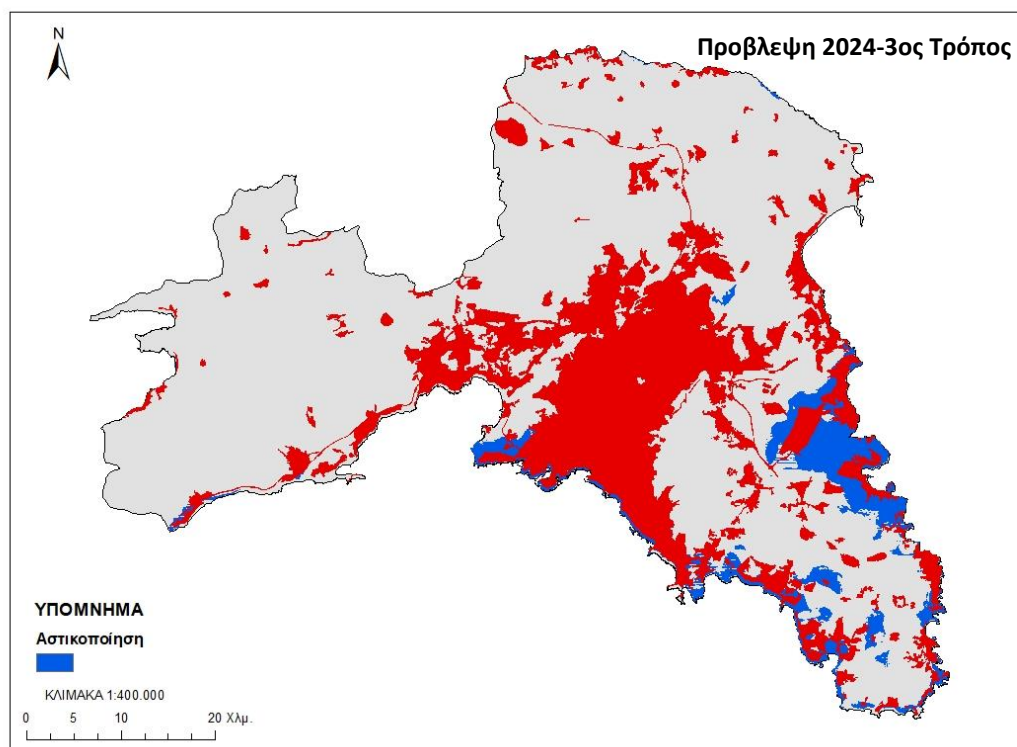
προβλεφτούν. Αποτελούν μεμονωμένες περιπτώσεις και όχι περιοχές που ακολουθούν τους κανόνες αστικοποίησης που προκύπτουν από τις μεταβλητές των δεδομένων. Εξαιρέση αποτελούν ορισμένα τμήματα στην περιοχή του Ασπρόπυργου.

Για το έτος 2018 οι ελλειπείς περιοχές είναι λίγο πιο συγκεκριμένες. Για ακόμη μία φορά είναι η περιοχή στη Βάρη και μία περιοχή βόρεια της Πεντέλης. Παρόλο που υπάρχουν αυτές οι ελλείψεις, οι παραπάνω προβλέψεις χαρακτηρίζονται ως αποδεκτές και τα λάθη τους ως επιτρεπτά.

Για το 2012, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 79,28%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 15.571. Αντίστοιχα, για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 98,36% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 3.551.

Για το 2018, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 89,42%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 7.936. Αντίστοιχα, για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 99,31% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 1.489.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πρόβλεψη για το 2024 με βάση το έτος 2018.



Εικόνα 37 Πρόβλεψη 2024-3ος τρόπος

Με βάση την παραπάνω εικόνα οι προβλέψεις αστικοποίησης εστιάζονται κυρίως στην περιοχή του αεροδρομίου και την περιοχή των Μεσογείων. Επίσης παρατηρείται μία αστικοποίηση στο Πέραμα. Αυτή η αστικοποίηση βρίσκεται σε μία φυσική περιοχή, κοντά στο Βιομηχανικό πάρκο Σχιστού. Αποτελεί μία πιθανή επέκταση της πόλης.

Τα αποτελέσματα από αυτήν την πρόβλεψη κρίνονται ως αποδεκτά. Η εικόνα αποτελεί μία πρόβλεψη η οποία θα μπορούσε να συμβεί στην πραγματικότητα.

#### 7.4 Τέταρτος Τρόπος (3 χρονικές στιγμές)

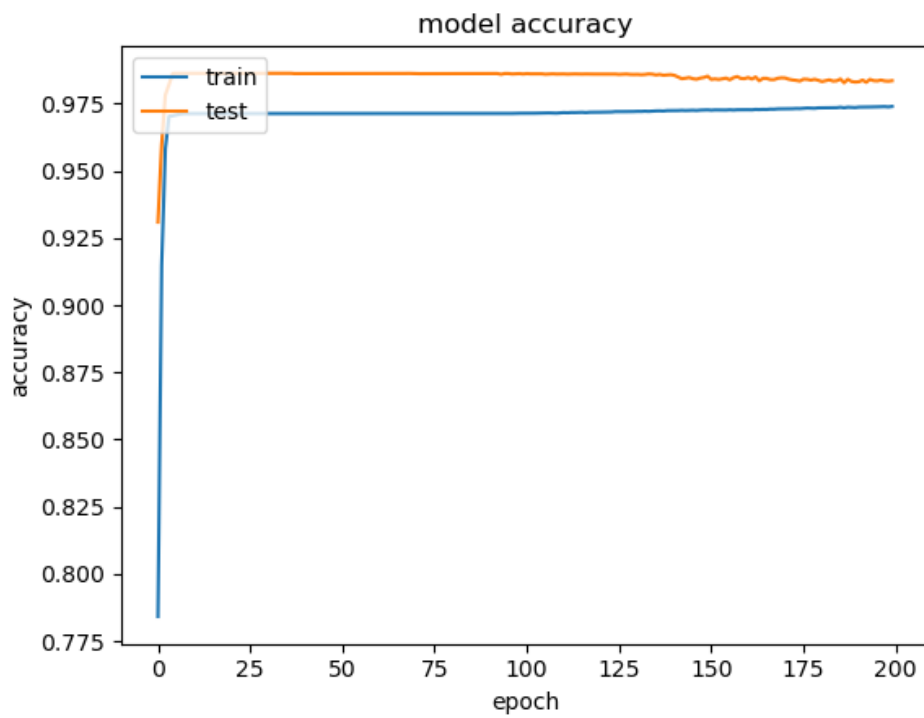
Ο τελευταίος τρόπος που επιλέχθηκε να δοκιμαστεί αντιμετώπισε τα δεδομένα με διαφορετικό τρόπο. Έτσι, ενώ στις προηγούμενες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν 2 χρονικές στιγμές, στην τρίτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 3. Έτσι, με δεδομένα τα στοιχεία για κάθε σημείο για 2 χρονιές, έγινε προασπάθεια να προβλεφτεί η επόμενη χρονιά. Τα δεδομένα δίνονται με τη λογική 2000, 2006 → 2012 και 2006, 2012 → 2018. Στη συνέχεια η πρόβλεψη του 2024 προκύπτει από τα δεδομένα για τα έτη 2012 και 2018. Ο τρόπος αυτός επιλέχθηκε προκειμένου να χρησιμοποιηθούν την ίδια στιγμή περισσότερες πληροφορίες και δεδομένα. Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη περίπτωση αυξάνονται οι μεταβλητές και το μέγεθος του πίνακα που εισάγεται στο νευρωνικό δίκτυο.

Οι μεταβλητές αυτές αναγράφονται παρακάτω:

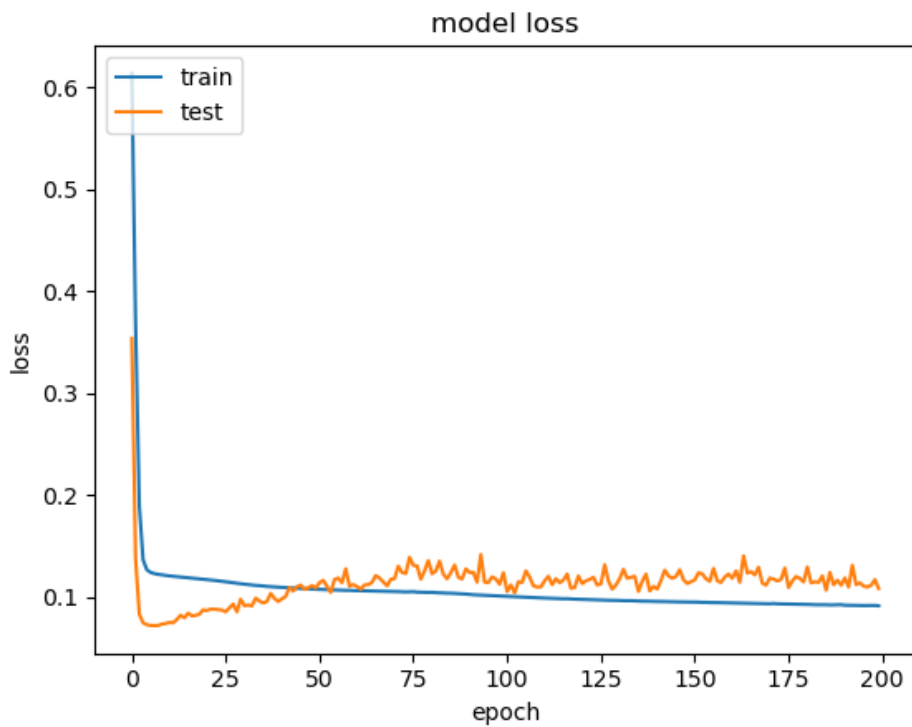
- Αρίθμηση
- Χρόνος 1
- Υψόμετρο
- Πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία 1
- Απόσταση από ακτογραμμή
- Απόσταση από πράσινους χώρους
- Απόσταση από σημεία αυξημένου ενδιαφέροντος
- Απόσταση από οδικό δίκτυο
- Απόσταση από στάση του δικτύου MMM 1
- Αριθμός Οικοδομικών Αδειών 1
- Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν 1
- Τυπολογία 1
- Χρόνος 2
- Πυκνότητα αστικότητας στα γειτονικά σημεία 2
- Απόσταση από στάση του δικτύου MMM 2
- Αριθμός Οικοδομικών Αδειών 2
- Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν 2
- Τυπολογία 2
- Χρόνος 3

Οι καμπύλες ακρίβειας και απώλειας είναι φυσικά αντίστοιχες με αυτές των προηγούμενων περιπτώσεων, αυτό άλλωστε εκφράζει και την ομαλή λειτουργία του νευρωνικού δικτύου. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ωστόσο μία μικρή διαφοροποίηση στην καμπύλη της απώλειας, αφού μετά τις 50 περίπου εποχές υπάρχει μία μικρή αύξηση των τιμών τις και η παρουσία διακύμανσης. Οι μέσοι όροι των παραπάνω τιμών είναι 93,60% για την ακρίβεια και 19,40% για την απώλεια.



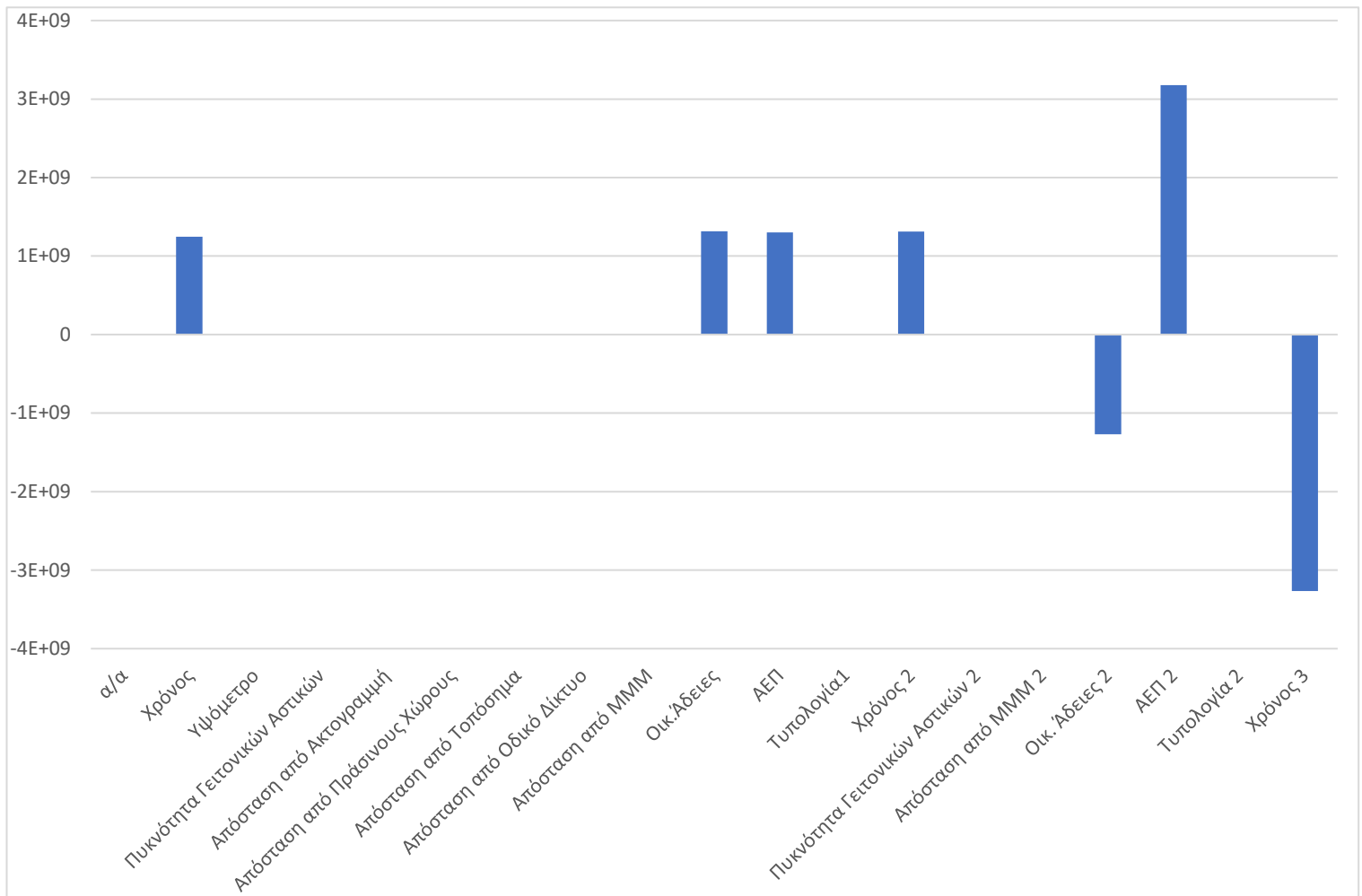


Σχήμα 28 Γράφημα ακρίβειας-4ος τρόπος



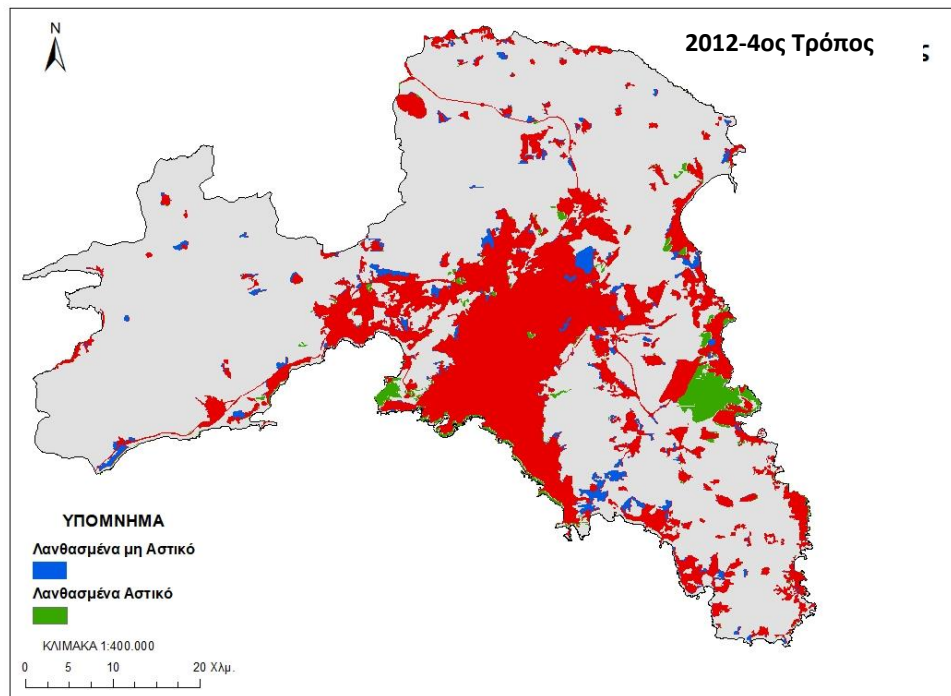
Σχήμα 27 Γράφημα απώλειας-4ος τρόπος

Το παρακάτω διάγραμμα με την σημαντικότητα των μεταβλητών παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, διότι εμφανίζει τη συμπεριφορά πολλών μεταβλητών και παρατηρούνται μεγάλες ανισότητες ανάμεσα στις μεταβλητές. Έτσι, η μεταβλητή που επηρεάζει θετικά και με πολύ μεγάλη διαφορά τη διαδικασία μάθησης, είναι το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν 2, δηλαδή τιμή του ΑΕΠ για την προηγούμενη χρονιά. Η μεταβλητή με την μεγαλύτερη αρνητική επιρροή είναι ο χρόνος 3, ενώ οι μεταβλητές χρόνος 1, Οικ. Άδειες 1, ΑΕΠ 1, χρόνος 2, και οικ. άδειες 2 επηρεάζουν σημαντικά το μοντέλο, χωρίς όμως να φτάνουν τις τιμές των δύο άλλων μεταβλητών που αναφέρθηκαν. Οι υπόλοιπες μεταβλητές παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές.

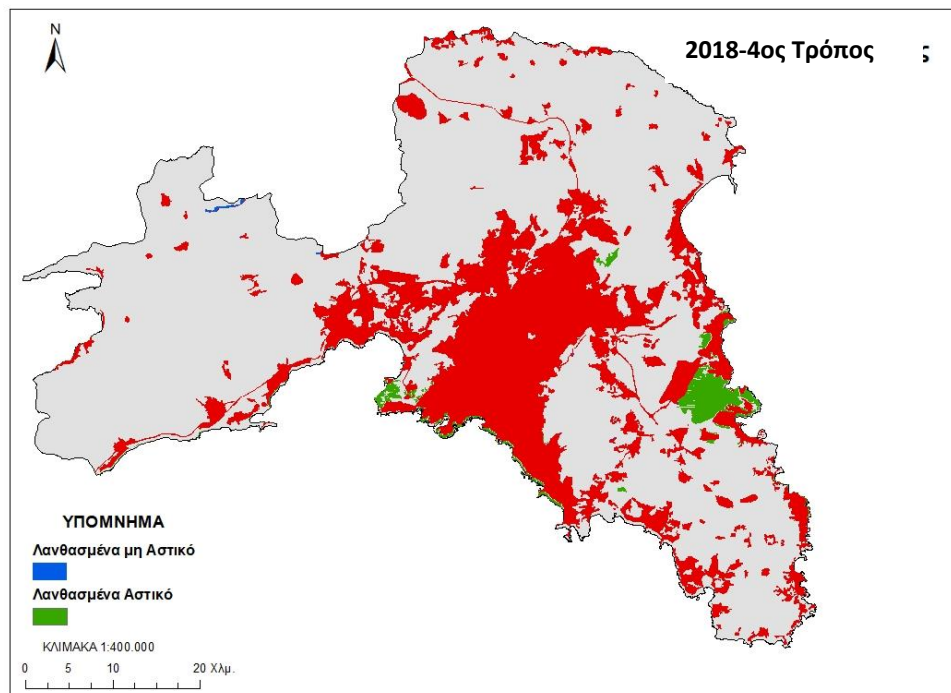


Σχήμα 29 Γράφημα σημαντικότητας-4ος τρόπος

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα έτη 2012 και 2018:



Εικόνα 38 Πρόβλεψη 2012-4ος τρόπος



Εικόνα 39 Πρόβλεψη 2018-4ος τρόπος

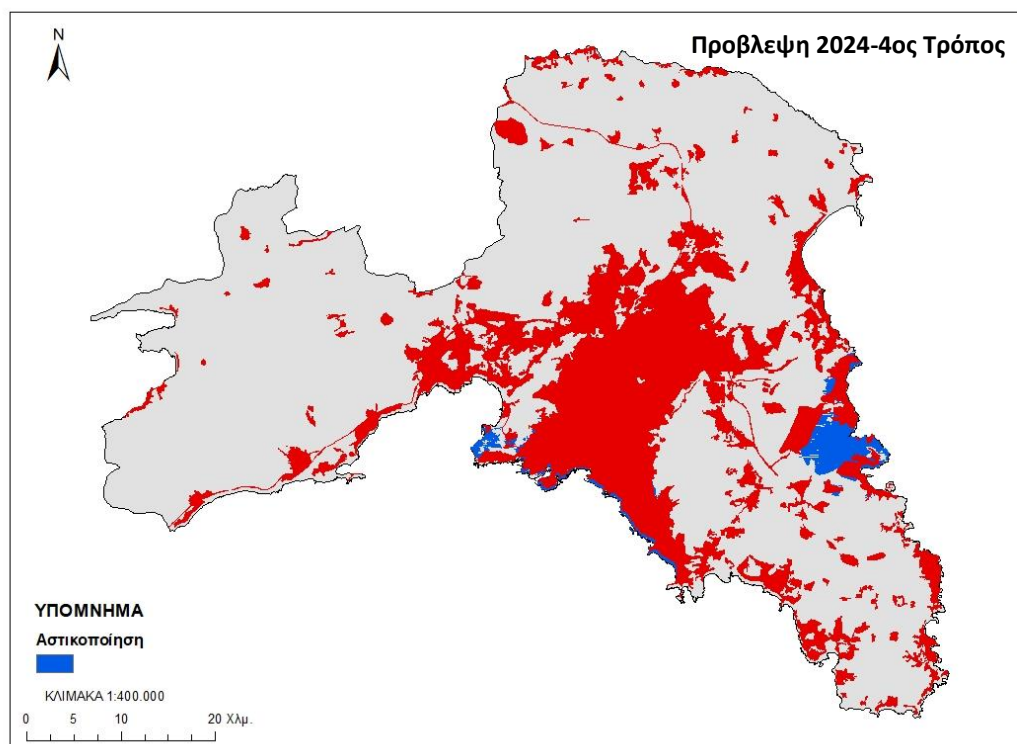
Οι προβλέψεις για τα έτη 2012 και 2018 με την τρίτη μέθοδο παρουσιάζουν, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ορισμένα σημεία με λάθος τρόπο. Για το 2012 οι απώλειες αστικοποίησης εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο κομμάτι του αστικού ιστού, όπως είναι η περιοχή βόρεια της Πεντέλης, μία μικρή περιοχή στον Ασπρόπυργο και για ακόμη μία φορά

στην περιοχή της Βάρης. Επιπλέον, η περίπτωση αυτή προέβλεψε τη λανθασμένη αστικοποίηση της περιοχής γύρω από το αεροδρόμιο. Αυτή η πρόβλεψη έγινε και για τις 2 χρονιές, χωρίς όμως να είναι αληθής. Η πρόβλεψη για το 2018 παρουσιάζει μεγαλύτερη επιτυχία, καθώς φαίνεται να προβλέφθηκε σωστά το μεγαλύτερο ποσοστό των αστικών σημείων, με εξαίρεση τα ελάχιστα σημεία των ανεμογεννητριών που δεν προβλέυτηκαν και κάποια επιπλέον σημεία που θεωρήθηκαν αστικά ενώ δεν ήταν.

Για το 2012, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 92,39%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 5.716. Αντίστοιχα, για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 97,32% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 5.823.

Για το 2018, τα ποσοστά επιτυχίας για τα αστικά σημεία είναι 99,81%. Ο αριθμός των αστικών σημείων που δεν προβλέφθηκαν είναι 145. Αντίστοιχα, για τα μη αστικά σημεία το ποσοστό είναι 97,88% και ο αριθμός των σημείων που χάθηκε είναι 4.601.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πρόβλεψη για το 2024 με βάση τα έτη 2006, 2012 και 2018.



Εικόνα 40 Πρόβλεψη 2024-4ος τρόπος

Η πρόβλεψη του έτους 2024 περιέχει 2 σημαντικές αστικές επεκτάσεις. Αρχικά είναι εμφανής η επέκταση στην περιοχή του αεροδρομίου. Η πρόβλεψη αυτή, ήταν ένα από τα αποτελέσματα των προβλέψεων και των δύο άλλων ετών, πράγμα που δείχνει ότι προκύπτει από τα δεδομένα και τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται αλλά και ότι είναι αναπόφευκτη.

Το άλλο σημείο που φαίνεται να αστικοποιείται σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα είναι μία περιοχή στο Πέραμα, κοντά στο Βιομηχανικό πάρκο Σχιστού.

## 8. Συμπεράσματα

### 8.1 Γενικά Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν οι τρεις τρόποι που εφαρμόστηκαν στην Αττική προκειμένου να γίνει η πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης για το έτος 2024. Δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα με τις καμπύλες ακρίβειας και απώλειας, καθώς επίσης και τα διαγράμματα για τη σημασία της κάθε μεταβλητής. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι πολύ συγκεκριμένα.

Από τα διαγράμματα ακρίβειας και απώλειας προκύπτει το συμπέρασμα ότι το μοντέλο που κατασκευάστηκε λειτουργεί **με σωστό τρόπο** και ότι η διαδικασία μάθησης εκτελείται πολύ **γρήγορα**. Σε αυτό το συμπέρασμα συντελεί και το γεγονός ότι προκύπτουν **πολύ υψηλά ποσοστά ακρίβειας και πολύ χαμηλά ποσοστά απώλειας**. Ακόμα, από τα διαγράμματα αυτά γίνεται σαφές ότι τα δεδομένα τεστ σημειώνουν καλύτερες επιδόσεις από τα δεδομένα εκπαίδευσης, πράγμα που είναι αναμενόμενο για να ένα νευρωνικό δίκτυο που λειτουργεί σωστά.

Αναφορικά με το διάγραμμα σημαντικότητας, διαπιστώνεται ότι ορισμένες μεταβλητές δεν συνεισφέρουν καθόλου στο μοντέλο, ενώ άλλες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Η μεταβλητή που έχει μεγάλη θετική σημασία είναι κυρίως η **τυπολογία**, δηλαδή η κατάσταση της προηγούμενης χρόνιας. Επίσης είναι σημαντικές οι μεταβλητές που αφορούν τον χρόνο, την απόσταση από τις στάσεις των ΜΜΜ και το υψόμετρο. Οι μεταβλητές αυτές επηρεάζουν αρνητικά την αστικοποίηση των σημείων. Τέλος, είναι σημαντικές και οι μεταβλητές που αφορούν το Α.Ε.Π. και τις οικοδομικές άδειες.

Αρχικά, σε καμία περίπτωση δεν υπήρξε 100% επιτυχία στην πρόβλεψη αστικών και μη αστικών σημείων για τα έτη 2012 και 2018. Επιπλέον, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων **τα σημεία που ήταν ελλιπή ήταν σημεία κοινά και στις τρεις περιπτώσεις**. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι αυτά τα σημεία, δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν από το νευρωνικό δίκτυο ως σημεία αλλαγής ή ως νέα σημεία που μετατρέπονται σε αστικά. Δεν αποτελούν περιοχές για τις οποίες μπορούν να εξαχθούν κανόνες αστικοποίησης που να περιγράφονται με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα εργασία, πρόκειται συνήθως για δραστηριότητες όπως είναι το χαρακτηριστικό παράδειγμα της τοποθέτησης ανεμογεννητριών στο βόρειο-δυτικό κομμάτι της Αττικής το 2018 και η αστική ανάπτυξη στη στρατιωτική σχολή στη Βάρη το 2012. Επιπλέον, περιοχές που το νευρωνικό δίκτυο δυσκολεύτηκε να εντοπίσει και να προβλέψει είναι η περιοχή βόρεια της Πεντέλης και μία μικρή επέκταση της περιοχής του Ασπρόπυργου. Επίσης, παρατηρήθηκε αδυναμία εντοπισμού σε σημειακές αστικοποίησης στην ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων.

Αναφορικά με την πρόβλεψη του 2024, τα αποτελέσματα συνοψίζονται και πάλι σε προβλέψεις αστικοποίησης συγκεκριμένων περιοχών. Όπως φαίνεται από τις εικόνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, **προβλέπεται αύξηση των αστικών περιοχών στην περιοχή των Μεσογείων και συγκεκριμένα στην περιοχή που βρίσκεται το αεροδρόμιο**. Επιπλέον προκύπτει αστική επέκταση στην ευρύτερη περιοχή που **του Περάματος**. Τα αποτελέσματα αυτά χαρακτηρίζονται ως αποδεκτά, καθώς μπορούν εύκολα να προκύψουν αν βασιστούμε στα δεδομένα και στις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, χαρακτηρίζονται ως πιθανά, διότι μπορούν να συμβούν στην πραγματικότητα.

## 8.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η εργασία αυτή αποτελεί μία από τις πρώτες προσπάθειες που γίνονται για χρήση νευρωνικών δικτύων στην πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης. Συνεπώς, δεν υπήρχε μεγάλη εξοικείωση με τη φιλοσοφία τους και τον τρόπο που λειτουργούν. Για το λόγο αυτό, συστήνεται να απαναληφθεί με τις παρακάτω **παρεμβάσεις** που δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στα πλαίσια μίας και μόνο διπλωματικής εργασίας.

- Αν υπήρχαν **περισσότερα δεδομένα** για παρελθόντα έτη, θα υπήρχε η δυνατότητα διαμόρφωσης μιας πιο ακριβούς εικόνας της εξέλιξης της αστικής εξάπλωσης στην περιφέρεια Αττικής, επομένως θα χρησιμοποιούνταν και πιο ακριβής βαθμονόμηση του μοντέλου και άρα θα εξαγόταν και πιο ακριβή αποτελέσματα.
- Στο μέλλον θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στη μεθοδολογία και **άλλα στοιχεία** που είναι σημαντικοί παράγοντες της αστικής ανάπτυξης, όπως για παράδειγμα το μέσο εισόδημα των κατοίκων ενός δήμου ή οι τιμές των κατοικιών μιας περιοχής. Συμβάλλοντας κατά αυτόν τον τρόπο στο να δημιουργηθεί ένα καλύτερο προφίλ για την κάθε περιοχή.
- Η **γνώση της ροής των εσωτερικών μεταναστευτικών κυμάτων** θα έδινε τη δυνατότητα να δημιουργηθεί, ένα κριτήριο το οποίο αντικατοπτρίζει τον ανθρώπινο παράγοντα, κάτι που λείπει από το μοντέλο που εφαρμόστηκε. Επιπλέον, τυχόν ιδιομορφίες κάποιας περιοχής (για παράδειγμα η εκκίνηση της αξιοποίησης του Ελληνικού) δεν ήταν δυνατόν να συμπεριληφθούν και να αξιοποιηθούν κατάλληλα ως πληροφορίες στο μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από μία έρευνα για τα μελλοντικά σχέδια από το ΠΕΠ ή από διάφορα ΤΧΣ να συγκεντρωθούν μελλοντικά τοπόσημα, για να συμπεριληφθούν στο στάδιο της πρόβλεψης.
- Μια ακόμα προσθήκη που μπορεί να γίνει είναι στην ταξινόμηση των χρήσεων γης όπου προτείνεται να **γίνει διαχωρισμός μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αστικής δόμησης**. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μία εκτενέστερη μελέτη πάνω στην εξέλιξη της αστικοποίησης της Αττικής.
- Δεν ελήφθησαν υπόψιν **οι νησιωτικοί δήμοι** της Αττικής (Σαλαμίνα, Αίγινα, Κύθηρα κλπ.), καθώς δεν είναι σαφές πώς μπορεί να οριστεί σε αυτές τις περιπτώσεις η αστική ανάπτυξη και ούτε υπήρξε κάποια μελέτη που να βοηθάει στο να κατανοηθεί πώς μπορεί να γίνει ο χειρισμός αυτής της περίπτωσης. Σε μελλοντική έρευνα ενδεχομένως θα είχε ενδιαφέρον να εξεταστεί και αυτό το φαινόμενο.
- Επίσης, η συγκεκριμένη μεθοδολογία θα μπορούσε **να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές** και θα είχε ενδιαφέρον να συγκριθούν τα αποτελέσματα τους με αυτά της Αττικής. Αν σε μια άλλη περιοχή δημιουργούνται μοτίβα αστικοποίησης με κοινά χαρακτηριστικά, δηλαδή τα δεδομένα των περιοχών αυτών έχουν παρόμοια πορεία αστικοποίησης θα ήταν πολύ σημαντικό να συγκριθούν τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν από την εφαρμογή του μοντέλου σε αυτές τις περιοχές, με αυτά της Αττικής.
- Προτείνεται η **σύγκριση** των αποτελεσμάτων των νευρωνικών δικτύων που παρουσιάστηκαν παραπάνω, με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από άλλες μεθόδους οι οποίες έχουν ήδη εφαρμοστεί στην Αττική, όπως είναι τα κυψελοειδή αυτόματα και το μοντέλο SLEUTH. Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να συγκριθούν οι προβλέψεις που παράχθηκαν για το ίδιο πολεοδομικό συγκρότημα.



## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

#### Βιβλία

Acuto, M., Seto, K., Parnell, S., Contestabile, M., Allen, A., Attia, S., Bai, X., Batty, M., Bettencourt, L., Birch, E., Bulkeley, H., Cardama, M., Ebikeme, C., Elmqvist, T., Elsheshtawy, Y., Kickbusch, I., Lwasa, S., McCann, J., McCarney, P., 2018. Science and the Future of Cities. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27706.64969>

Barnes, K., Morgan, J., Roberge, M., Lowe, S., 2001. SPRAWL DEVELOPMENT: ITS PATTERNS, CONSEQUENCES, AND MEASUREMENT. Towson University, Towson.

Batty, M., 2018. Inventing Future Cities. MIT Press.

Ewing, R.H., 2008. Characteristics, Causes, and Effects of Sprawl: A Literature Review, in: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U., ZumBrunnen, C. (Eds.), Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature. Springer US, Boston, MA, pp. 519–535. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5\\_34](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_34)

Liu, Y., 2008. Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata. CRC Press.

Marsland, S., 2015. Machine Learning: An Algorithmic Perspective, Second Edition. CRC Press.

OECD, 2018. Rethinking Urban Sprawl: Moving Towards Sustainable Cities. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264189881-en>

Peck, S., 1998. Planning for biodiversity: issues and examples. Island Press, Washington, D.C.

Population Fund (Ed.), 2007. Unleashing the potential of urban growth, State of world population. UNFPA, New York, NY.

Porter, D.R., 2000. The practice of sustainable development. Washington, D.C. : Urban Land Institute.

Shalev-Shwartz, S., Ben-David, S., 2014. Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. Cambridge University Press.

Squires, P. of S.P.P. and P.A.G.D., 2002. Urban Sprawl: Causes, Consequences, & Policy Responses. The Urban Insitute.

Webb, M., 1990. The city square. Thames and Hudson, London.

Whyte, W.H., 1993. The Exploding Metropolis. University of California Press.

## **Επιστημονικά Άρθρα**

Agathangelidis, I., Cartalis, C., Santamouris, M., 2019. Integrating Urban Form, Function, and Energy Fluxes in a Heat Exposure Indicator in View of Intra-Urban Heat Island Assessment and Climate Change Adaptation. *Climate* 7, 75. <https://doi.org/10.3390/cli7060075>

Allen, J., Lu, K., 2003. Modeling and Prediction of Future Urban Growth in the Charleston Region of South Carolina: A GIS-Based Integrated Approach. *Conserv. Ecol.* 8. <https://doi.org/10.5751/ES-00595-080202>

Batty, M., 1992. Urban Modeling in Computer-Graphic and Geographic Information System Environments. *Environ Plann B Plann Des* 19, 663–688. <https://doi.org/10.1068/b190663>

Batty, M., Xie, Y., 1994. From Cells to Cities. *Environ Plann B Plann Des* 21, S31–S48. <https://doi.org/10.1068/b21S031>

Bengio, Y., 2009. Learning Deep Architectures for AI. *FNT in Machine Learning* 2, 1–127. <https://doi.org/10.1561/2200000006>

Bengio, Y., n.d. Deep Learning of Representations for Unsupervised and Transfer Learning 21.

Berberoğlu, S., Akin, A., Clarke, K.C., 2016. Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning* 153, 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.017>

Berglund L., 2014, “Review of Land-Use Models-Summary and Documentation, WSP Analysis & Strategy

Brueckner, J.K., 2000. Urban Sprawl: Diagnosis and Remedies. *International Regional Science Review* 23, 160–171. <https://doi.org/10.1177/016001700761012710>

Camagni, R., Gibelli, M.C., Rigamonti, P., 2002. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics* 40, 199–216. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00254-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00254-3)

Chaudhuri, G., Clarke, K.C., 2014. Temporal Accuracy in Urban Growth Forecasting: A Study Using the SLEUTH Model. *Transactions in GIS* 18, 302–320. <https://doi.org/10.1111/tgis.12047>

Cutchan, M.M., Özdal-Oktay, S., Giannopoulos, I., n.d. Semantic-based urban growth prediction. *Transactions in GIS* n/a. <https://doi.org/10.1111/tgis.12655>

Dwyer, J.F., Childs, G.M., 2004. Movement of people across the landscape: a blurring of distinctions between areas, interests, and issues affecting natural resource management. *Landscape and Urban Planning, The Social Aspects of Landscape Change: Protecting Open Space Under the Pressure of Development* 69, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.09.004>

Ewing, R., 1997. Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? *Journal of the American Planning Association* 63, 107–126. <https://doi.org/10.1080/01944369708975728>

Fragkias, M., Seto, K.C., 2007. Modeling Urban Growth in Data-Sparse Environments: A New Approach. *Environ Plann B Plann Des* 34, 858–883. <https://doi.org/10.1068/b32132>

Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J., 2001. Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate* 12, 681–717. <https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426>

Ghorra-Gobin, C., 2004. Dossier Révolution urbaine et mondialisation. Vingtieme Siecle. *Revue d'histoire* no 81, 37–39.

Gómez, J.A., Patiño, J.E., Duque, J.C., Passos, S., 2020. Spatiotemporal Modeling of Urban Growth Using Machine Learning. *Remote Sensing* 12, 109. <https://doi.org/10.3390/rs12010109>

Grekousis, G., 2019. Artificial neural networks and deep learning in urban geography: A systematic review and meta-analysis. *Computers, Environment and Urban Systems* 74, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.008>

Grekousis, G., Fotis, Y.N., 2012. A fuzzy index for detecting spatiotemporal outliers. *Geoinformatica* 16, 597–619. <https://doi.org/10.1007/s10707-011-0145-4>

Grekousis, G., Manetos, P., Photis, Y.N., 2013. Modeling urban evolution using neural networks, fuzzy logic and GIS: The case of the Athens metropolitan area. *Cities, Special Section: Analysis and Planning of Urban Settlements: The Role of Accessibility* 30, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.03.006>

Grekousis, G., Thomas, H., 2012. Comparison of two fuzzy algorithms in geodemographic segmentation analysis: The Fuzzy C-Means and Gustafson–Kessel methods. *Applied Geography* 34, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.11.004>

Guan, Q., Wang, L., Clarke, K.C., 2005. An Artificial-Neural-Network-based, Constrained CA Model for Simulating Urban Growth. *Cartography and Geographic Information Science* 32, 369–380. <https://doi.org/10.1559/152304005775194746>

Güneralp, B., Reba, M., Hales, B.U., Wentz, E.A., Seto, K.C., 2020. Trends in urban land expansion, density, and land transitions from 1970 to 2010: a global synthesis. *Environ. Res. Lett.* 15, 044015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6669>

Güneralp, B., Reilly, M.K., Seto, K.C., 2012. Capturing multiscalar feedbacks in urban land change: a coupled system dynamics spatial logistic approach. *Environ. Plann. B* 39, 858–879. <https://doi.org/10.1068/b36151>

Güneralp, B., Seto, K.C., 2013. Futures of global urban expansion: uncertainties and implications for biodiversity conservation. *Environ. Res. Lett.* 8, 014025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014025>

Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P.L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K.C., 2017. Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proc Natl Acad Sci USA* 114, 8945–8950. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114>

Hinton, G.E., Osindero, S., Teh, Y.-W., 2006. A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets. *Neural Computation* 18, 1527–1554. <https://doi.org/10.1162/neco.2006.18.7.1527>

- Kahn, M.E., 2000. The environmental impact of suburbanization. *Journal of Policy Analysis and Management* 19, 569–586. [https://doi.org/10.1002/1520-6688\(200023\)19:4<569::AID-PAM3>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1520-6688(200023)19:4<569::AID-PAM3>3.0.CO;2-P)
- Kim, K.G., 2016. Book Review: Deep Learning. *Healthc Inform Res* 22, 351. <https://doi.org/10.4258/hir.2016.22.4.351>
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J., 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Liu, W., Seto, K.C., 2008. Using the ART-MMAP Neural Network to Model and Predict Urban Growth: A Spatiotemporal Data Mining Approach. *Environ Plann B Plann Des* 35, 296–317. <https://doi.org/10.1068/b3312>
- Liu, X., Li, X., Liu, L., He, J., Ai, B., 2008. A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence. *International Journal of Geographical Information Science* 22, 1247–1269. <https://doi.org/10.1080/13658810701757510>
- Mahtta, R., Mahendra, A., Seto, K.C., 2019. Building up or spreading out? Typologies of urban growth across 478 cities of 1 million\$. *Environ. Res. Lett.* 14, 124077. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab59bf>
- Maier, G., Franz, G., Schrock, P., 2006. Urban Sprawl. How Useful Is This Concept?
- Mohamed, A., Dahl, G.E., Hinton, G., 2012. Acoustic Modeling Using Deep Belief Networks. *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.* 20, 14–22. <https://doi.org/10.1109/TASL.2011.2109382>
- Musa, S.I., Hashim, M., Reba, M.N.M., 2017. A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives. *Geocarto International* 32, 813–833. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1213891>
- Nechyba, T.J., Walsh, R.P., 2004. Urban Sprawl. *Journal of Economic Perspectives* 18, 177–200. <https://doi.org/10.1257/0895330042632681>
- Neuman, M., 2005. The Compact City Fallacy. *Journal of Planning Education and Research* 25, 11–26. <https://doi.org/10.1177/0739456X04270466>
- Niazi, M., Hussain, A., 2011. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based Models: a visual survey. *Scientometrics* 89, 479–499. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0468-9>
- Pampoore-Thampi, A., Varde, A.S., Yu, D., n.d. Mining GIS Data to Predict Urban Sprawl 8.
- Pijanowski, B., Gage, S., Long, D., Cooper, W.C., 2000. A land transformation model: Integrating policy, socioeconomics and environmental drivers using a geographic information system. *Landscape Ecology: A Top Down Approach* 183–198.
- Pijanowski, Bryan C, Brown, D.G., Shellito, B.A., Manik, G.A., 2002. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. *Computers,*

Environment and Urban Systems 26, 553–575. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1)

Pijanowski, Bryan C., Shellito, B., Pithadia, S., Alexandridis, K., 2002. Forecasting and assessing the impact of urban sprawl in coastal watersheds along eastern Lake Michigan. Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use 7, 271–285. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2002.00203.x>

Pijanowski, B.C., Tayyebi, A., Doucette, J., Pekin, B.K., Braun, D., Plourde, J., 2014. A big data urban growth simulation at a national scale: Configuring the GIS and neural network based Land Transformation Model to run in a High Performance Computing (HPC) environment. Environmental Modelling & Software 51, 250–268. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.015>

Reba, M., Seto, K.C., 2020. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. Remote Sensing of Environment 242, 111739. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111739>

Roe, P. H., G. N. Soulis, et al., 1992. The Discipline of Design, University of Waterloo Reprint, original 1967

Rosenblatt, F., 1958. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review 65, 386–408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R. j., 1986. Learning Internal Representations by Error Propagation 1, 319–362.

Seto, K.C., Fragkias, M., Güneralp, B., Reilly, M.K., 2011. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. PLoS ONE 6, e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>

Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyrá, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences 109, 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

Stokes, E.C., Seto, K.C., 2019. Characterizing and measuring urban landscapes for sustainability. Environ. Res. Lett. 14, 045002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafab8>

Tang, B.-S., Wong, S., Lee, A., 2007. Green belt in a compact city: A zone for conservation or transition? Landscape and Urban Planning 79, 358–373. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.04.006>

Torrens, P.M., n.d. 2003. Automata-based models of urban systems 21.

Triantakonstantis, D., Mountrakis, G., 2012. Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions 2012. <https://doi.org/10.4236/jgis.2012.46060>

Triantakonstantis, D.P., 2012a. Urban Growth Modelling Using Determinism and Stochasticity in a Touristic Village in Western Greece. Open Journal of Civil Engineering 2012. <https://doi.org/10.4236/ojce.2012.21007>

- Triantakonstantis, D.P., 2012b. Urban Growth Prediction Modelling Using Fractals and Theory of Chaos. *Open Journal of Civil Engineering* 2, 720–726.  
<https://doi.org/10.4236/ojce.2012.22013>
- St. Paul Pioneer Press (Magazine) 2007 " How Much Open Space is Enough?"
- Sun, Z. 2003. Simulating Urban Growth Using Cellular Automata: a case study in Zhongshan city, China. UPLA. Enschede. NL, ITC
- Wang, J., Mountrakis, G., 2011. Developing a multi-network urbanization model: A case study of urban growth in Denver, Colorado. *International Journal of Geographical Information Science* 25, 229–253. <https://doi.org/10.1080/13658810903473213>
- Wigginton, N.S., Fahrenkamp-Uppenbrink, J., Wible, B., Malakoff, D., 2016. Cities are the Future. *Science* 352, 904–905. <https://doi.org/10.1126/science.352.6288.904>
- Wu, F., Webster, C., 2000. Simulating artificial cities in a GIS environment: Urban growth under alternative regulation regimes. *International Journal of Geographical Information Science* 14, 625–648. <https://doi.org/10.1080/136588100424945>
- Xia, C., Zhang, A., Wang, H., Zhang, B., 2019. Modeling urban growth in a metropolitan area based on bidirectional flows, an improved gravitational field model, and partitioned cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science* 33, 877–899.  
<https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1562067>
- Xu, T., Gao, J., Coco, G., 2019. Simulation of urban expansion via integrating artificial neural network with Markov chain – cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science* 33, 1960–1983. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1600701>
- Zhang, H., Zeng, Y., Bian, L., Yu, X., 2010. Modelling urban expansion using a multi agent-based model in the city of Changsha. *J. Geogr. Sci.* 20, 540–556.  
<https://doi.org/10.1007/s11442-010-0540-z>
- Zhao, C., Jensen, J., Zhan, B., 2017. A comparison of urban growth and their influencing factors of two border cities: Laredo in the US and Nuevo Laredo in Mexico. *Applied Geography* 79, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.017>
- Zhou, Y., Varquez, A.C.G., Kanda, M., 2019. High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. *Scientific Data* 6, 34.  
<https://doi.org/10.1038/s41597-019-0048-z>

## **Ιστοσελίδες**

- Basic Data Selection - amaWebClient [WWW Document], n.d. URL  
<https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic> (accessed 2.11.21).
- CEC (1990). Green Book on the urban Environment. Luxemburg: Commision of the European Commities.
- CEC (2004). Thematic strategy on the urban environment. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/>



EEA Briefing 4/2006 - Η άναρχη αστική επέκταση στην Ευρώπη — Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος [WWW Document], n.d. URL

[https://www.eea.europa.eu/el/publications/briefing\\_2006\\_4](https://www.eea.europa.eu/el/publications/briefing_2006_4) (accessed 11.26.20).

ESPON | Inspire Policy Making with Territorial Evidence [WWW Document], n.d. URL

<https://www.espon.eu/> (accessed 11.26.20).

GEODATA.gov.gr [WWW Document], n.d. URL <https://geodata.gov.gr/> (accessed 2.11.21).

Global Rural-Urban Mapping Project (GRUMP), v1 | SEDAC [WWW Document], n.d. URL

<https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/grump-v1> (accessed 11.26.20).

Global Urban Growth Typified By Suburbs, Not Skyscrapers [WWW Document], n.d. . Yale School of the Environment. URL <https://environment.yale.edu/news/article/global-urban-growth-typified-by-suburbs-not-skyscrapers> (accessed 11.26.20).

Homepage | Copernicus [WWW Document], n.d. URL <https://www.copernicus.eu/en> (accessed 11.26.20).

Machine Learning Mastery [WWW Document], n.d. . Machine Learning Mastery. URL

<https://machinelearningmastery.com/> (accessed 11.26.20).

ReportBuyer, n.d. Deep Learning Market by Application, End-User Industry, and Geography - Global Forecasts to 2022 [WWW Document]. URL <https://www.prnewswire.com/news-releases/deep-learning-market-by-application-end-user-industry-and-geography---global-forecasts-to-2022-300371987.html> (accessed 12.8.20).

Urban Growth Prediction [WWW Document], n.d. . Código para el Desarrollo. URL

<https://code.iadb.org/en/tools/urban-growth-prediction> (accessed 11.26.20).

Urban Sprawl Model [WWW Document], n.d. URL

<https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=f042c4fb1ed84e59b30071410383e906> (accessed 11.25.20).

What is urban growth? (article) [WWW Document], n.d. . Khan Academy. URL

<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/society-and-culture/demographics/a/what-is-urban-growth> (accessed 11.25.20).

World Cities Culture Report 2018 [WWW Document], n.d. URL

<http://www.worldcitiescultureforum.com/publications/world-cities-culture-report-2018> (accessed 11.26.20).

Κεντρική Σελίδα ΕΛΣΤΑΤ - ELSTAT [WWW Document], n.d. URL <https://www.statistics.gr/> (accessed 2.11.21).

## **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Αθανασόπουλος, Κ. και Βλαστός, Θ. 2009. Διλήμματα δημοκρατίας και η σημασία της συμμετοχής των πολιτών στο πλαίσιο ενός σύγχρονου πολεοδομικού σχεδιασμού. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης-Τόμος III. Βόλος: 1569-1576

Ανδρικοπούλου Ε., Γιαννάκου Α., Καύκαλας Γ., Πιτσιάβα – Λατινοπούλου Μ., Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, 2007. Πόλη και Πολεοδομικές πρακτικές για τη βιώσιμη ανάπτυξη

Αναστασιάδης, Α. και Χατζηκοκόλη Σ. 2012. Το ελληνικό αστικό κέντρο κάτω από το πρίσμα της Αειφόρου Νέας Πολεοδομίας. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Μέρος Ι. Βόλος, 352-357.

Αραβαντινός, Α. και Κοσμάκη, Π. 1988. Υπαίθριοι χώροι στην πόλη. Αθήνα: ΕΜΠ.

Αραβαντινός, Α., 2007. Πολεοδομικός Σχεδιασμός. Συμμετρία, Αθήνα.

Βασενχόφεν Λ. 2008. “Ευρωπαϊκή Ένωση και πόλεις: Η πολιτική της ΕΕ για τις πόλεις”, παρουσίαση στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π. διαθέσιμο ηλεκτρονικά στον ιστοχώρο [http://courses.arch.ntua.gr/el/proseggiseis\\_toy\\_sxediasmoy\\_sthn\\_ellada/mauimat\\_a/prohgoymenvn\\_etvn.html](http://courses.arch.ntua.gr/el/proseggiseis_toy_sxediasmoy_sthn_ellada/mauimat_a/prohgoymenvn_etvn.html)

Γεμενετζή Γ., 2014, ΣΥΜΠΑΓΗΣ ΠΟΛΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, τεύχος ΤΕΕ (15 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2014)  
[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/GRAFEIO\\_TYPOY/TECHNOGRAFHMA\\_2014/TECHNOGRAFHMA\\_495/TECHNO495\\_10\\_17.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/GRAFEIO_TYPOY/TECHNOGRAFHMA_2014/TECHNOGRAFHMA_495/TECHNO495_10_17.pdf) Πρόσβαση: 08/12/20

Γεωργούλη, Κ., 2015. ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ Μια Εισαγωγική Προσέγγιση. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα.

Διμέλλη Δ., Smart cities Έννοιες, χαρακτηριστικά και καλές πρακτικές: Οι ανάγκες για την εκπόνηση στρατηγικού σχεδιασμού. Διάφανειες που παρουσιάστηκαν στη σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ηλιοπούλου, Π., 2017. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα.

Καμπουρλάζος, Β., Παπακώστας, Γ., 2015. Εισαγωγή στην ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα

Κυριλλίδης Α., 2017, Μοντελοποίηση της Μελλοντικής Εξάπλωσης Αστικών Περιοχών με Χρήση Μεθόδων Υπολογιστικής Νοημοσύνης : Η περίπτωση της Αττικής, Διπλωματική Εργασία. ΕΜΠ

Λεοντίδου, Λ. 2001. Πόλεις της Σιωπής. Εργατικός εποικισμός της Αθήνας και του Πειραιά 1909-1940, Αθήνα: Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ

Μπαρμπόπουλος, Ν., Μηλάκης, Δ. και Βλαστός, Θ. 2005. Αναζητώντας τη μορφή της βιώσιμης πόλης: Κριτική προσέγγιση του συμπαγούς πολεοδομικού μοντέλου. Αειχώρος 4. 1:20-45

Μπαρτσώκα Κ., 2016, Συνδυαστική προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση GIS και της πλατφόρμας GAMA: Ανάλυση τάσεων και προοπτικών στο Νομό Αττικής. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Παγιατάκη Ι.Δ., 2016, Αστική Εξάπλωση, Διάχυση και Ανάπτυξη στον Νομό Αττικής. Μια πρόσεγγιση μέσω των κυψελοειδών αυτομέτων σε περιβάλλον GIS. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Παπαρηγορίου, Β. 2007. Πολεοδομία: Εισαγωγή, θεσμοί, πολιτική. Αθήνα: Σάκκουλας.

Πετρολέκας Κ. , 2014. "Διερεύνηση των μηχανισμών μεταβολών χρήσεων γης ως αποτέλεσμα του φαινομένου της αστικής διάχυσης στον ελληνικό χώρο", Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Πορτοκαλίδης, Κ. και Ζυγούρη, Φ. 2011. Η ιδιότυπη «συμπαγής διάχυση» των ελληνικών πόλεων. Στο: Πρακτικά 9ου Εθνικού Συνεδρίου του Ελληνικού Τμήματος της Ευρωπαϊκής Εταιρίας Περιφερειακής Επιστήμης με θέμα: «Περιφερειακή Ανάπτυξη και Οικονομική Κρίση: Διεθνής Εμπειρία και Ελλάδα». Αθήνα.

Σιόλας, Α., Βλαστός, Θ., Κυριακίδης, Χ., Μπακογιάννης, Ε., Σίτη, Μ., 2015. Μέθοδοι, Εφαρμογές και Εργαλεία Πολεοδομικού Σχεδιασμού. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα.

Σκιαδά Μ., 2016 Υπολογιστή προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών Αυτομάτων και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στην ανατολική Αττική για δύο τύπους αστικότητας. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Σταυράκου Γ., 2014, Προσομοίωση Εξέλιξης και Επέκτασης Αστικών Περιοχών με Χρήση Κυψελοειδών Αυτομάτων: Εφαρμογή του Υποδείγματος Sleuth στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου Κρήτης. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Φώτης, Γ.Ν., 2009. Ποσοτική Χωρική Ανάλυση. Εκδόσεις Γκοβόστη, Βόλος.

Panagiotopoulou, M., Stratigea, A., Somarakis, G., 2014. Έξυπνες Πόλεις και Βιώσιμη Αστική Ανάπτυξη – Παραδείγματα από τη Μεσογειακή και την Ελληνική Εμπειρία.

Rossi, A. 1982. Η αρχιτεκτονική της πόλης. Θεσσαλονίκη: Σύγχρονα Θέματα.

